

# POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Energetica

**Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria Energetica e Nucleare**

Tesi di Laurea Magistrale

**Ottimizzazione energetica e funzionale  
dell'illuminazione esterna in complessi universitari:  
il caso studio del Politecnico di Torino**



**Relatore**

Prof.ssa Anna Pellegrino

**Relatore**

Prof. Gabriele Piccablotto

**Candidato**

Giulia Bartolomeo

Settembre 2018



*Ci terrei a ringraziare l'Ing. Gianni Carioni del Living Lab del Politecnico di Torino che mi ha fornito il tema alla base del quale è stato sviluppato il lavoro della presente tesi e l'Ing. Fabrizio Tonda Roc del servizio Edilog del Politecnico di Torino per la disponibilità e l'aiuto fornitomi nelle fasi preliminari di raccolta dati.*

## **Indice**

INTRODUZIONE .....	1
CAPITOLO 1. L'esigenza del risparmio energetico in materia di Illuminazione esterna .....	2
CAPITOLO 2. Normativa di riferimento .....	5
2.1 Sicurezza e risparmio energetico.....	5
2.1.1 La norma UNI EN 11248-ILLUMINAZIONE STRADALE: scelta delle categorie illuminotecniche .....	6
2.1.3 Le norme UNI EN 13201 .....	9
2.1.2 La norma UNI EN 12464-2 : Illuminazione dei posti di lavoro. Parte 2:posti di lavoro in esterno .....	13
2.2 L'Inquinamento luminoso .....	14
2.2.1 La norma UNI 10819:1999-Luce e illuminazione-Impianti di illuminazione esterna-Requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso .....	14
2.2.2 Legge Regionale 24 Marzo 2000, n.31 –Disposizioni per la prevenzione e lotta all'inquinamento luminoso e per il corretto impiego delle risorse energetiche .....	16
2.3 Il Piano Nazionale d'azione sul Green Public Procurement (PAN GPP).....	20
CAPITOLO 3. Studio preliminare e ipotesi di progetto.....	22
3.1 Analisi dello stato di fatto e classificazione degli impianti .....	22
3.2 Classificazione illuminotecnica.....	34
3.3 Misure di illuminamento .....	38
3.3 Misure di luminanza e analisi degli ambienti.....	48
3.4 Quadro riassuntivo dello stato di fatto e stima dei consumi.....	52
3.5 Il quadro delle esigenze .....	56
3.6 Concept progettuale e ipotesi di progetto .....	64
CAPITOLO 4. Il Progetto .....	67
4.1 Apparecchi utilizzati.....	67
4.2 Simulazione illuminotecnica .....	90
4.3 Analisi energetica .....	130
4.3.1 Stima dei consumi .....	157
4.3.2 Indicatori delle prestazioni energetiche e i C.A.M.....	166

CAPITOLO 5. Conclusioni.....	177
BIBLIOGRAFIA.....	179
SITOGRAFIA .....	181
APPENDICE A- SCHEDE TECNICHE DELLE STRUMENTAZIONI UTILIZZATE.....	182
A.1- LUXMETRO Minolta T1-M.....	182
A.2- LUXMETRO PRC Krochmann Gmbh modello 106 .....	183

## INTRODUZIONE

L'illuminazione degli ambienti esterni ricopre da sempre un ruolo importante all'interno del processo evolutivo della società contemporanea, passando da semplice strumento in grado di garantire la sicurezza degli utenti e il rispetto della normativa vigente ad un potente mezzo capace di modificare la percezione di un luogo, migliorare il comfort abitativo ed ambientale e promuovere lo sviluppo economico. Per tener conto di tutte queste caratteristiche è necessario attuare una progettazione illuminotecnica di tipo qualitativo piuttosto che quantitativo attraverso uno studio attento della zona in esame e degli apparecchi illuminanti esistenti, accompagnata da una conoscenza completa delle nuove tecnologie e delle tecniche di gestione degli impianti. Infatti negli ultimi anni la crescita di una coscienza collettiva verso i temi del risparmio energetico, la riduzione dell'inquinamento luminoso e la sostenibilità ambientale hanno posto particolare attenzione alla progettazione di interventi di riqualificazione e potenziamento degli impianti esistenti. I corpi illuminanti e le sorgenti luminose sono state quindi modificate al fine di ottenere livelli di efficienza energetica sempre più elevati grazie anche all'impiego della tecnologia LED.

A partire da queste basi si sviluppa il progetto di tesi che mira all'efficientamento energetico dell'impianto di illuminazione esterna del Politecnico di Torino attraverso un'ipotesi progettuale che prevede l'installazione di nuovi corpi illuminanti con sorgente a led e la regolazione degli impianti in base ai profili orari di utilizzazione delle aree. Elemento cardine del lavoro di tesi è quello di dimostrare come attraverso lo strumento della progettazione illuminotecnica consapevole, si possa ottenere una considerevole riduzione dei consumi di energia elettrica durante le ore notturne, una migliore qualità dell'illuminazione e una gestione degli impianti in modo efficiente e sostenibile.

Trattandosi dell'illuminazione di aree esterne private, la trattazione è stata svolta contestualizzando la letteratura e le normative di riferimento in tema di illuminazione pubblica da cui sono state estrapolate le informazioni comuni ai due ambiti di applicazione.

Nel Capitolo 1 vengono individuate le reali necessità alla base dell'efficientamento degli impianti di illuminazione pubblica ed esterna in generale, per conseguire un'illuminazione efficace ed efficiente nell'ottica del risparmio energetico.

Dopo aver effettuato nel Capitolo 2 un'analisi di tutta la normativa in materia, passando dalle indicazioni dei livelli di illuminamento minimo da rispettare, alle norme in tema di inquinamento luminoso e ai criteri minimi di compatibilità ambientale, è stato possibile andare ad inquadrare nel Capitolo 3, il progetto di tesi attraverso l'analisi dello stato di fatto dell'illuminazione esistente, le misure di illuminamento e luminanza in campo e la valutazione del quadro delle esigenze dell'area oggetto di intervento. Inoltre sono state definite le basi e fissate le ipotesi necessarie alla progettazione, tramite lo strumento di concept progettuale.

Nel capitolo 4 sono state sviluppate le varie fasi di progettazione e sono stati analizzati sia gli aspetti illuminotecnici che quelli energetici tramite la stima dei consumi, degli indicatori del risparmio energetico e dei criteri minimi ambientali da rispettare.

## **CAPITOLO 1. L'esigenza del risparmio energetico in materia di Illuminazione esterna**

L'illuminazione esterna notturna viene considerata da sempre come uno strumento di semplice funzionalità: essa nasce principalmente per rispondere ad alcune esigenze come garantire la visibilità degli utenti nelle ore buie, definire ed esaltare aspetti fondamentali di un ambiente e conferire un maggior senso di sicurezza fisica alle persone e al traffico veicolare. Inoltre con l'aumento costante dell'urbanizzazione, la luce artificiale è stata associata all'idea di progresso della società contemporanea ed è stata quindi considerata sempre più un bene scontato da impiegare senza limiti non solo per illuminare gli ambienti interni ed esterni ma anche per scopi pubblicitari, spettacoli, illuminazioni d'effetto e di impianti sportivi. La fonte principale di luce artificiale, infatti proviene dai centri abitati, strade ed edifici e cresce in modo parallelo all'aumento della percentuale di popolazione mondiale che vive nelle città. Inoltre se si considera il fatto che le risorse energetiche del Pianeta non possono essere sfruttate in modo illimitato, appare evidente come ci si debba muovere verso un uso razionale e più sostenibile dell'energia. Il settore dell'illuminazione pubblica ed esterna in generale appare quindi, un punto di partenza ideale per attuare le politiche di ottimizzazione nell'approvvigionamento e nel consumo finale di energia promosse dall'Unione Europea. Sulla base delle direttive europee, l'Italia e i vari enti come Regioni e Comuni hanno attuato una serie di piani energetici e regolatori contenenti una sezione specifica sull'illuminazione pubblica che contengono gli strumenti per una progettazione adeguata degli impianti di illuminazione. Dall'analisi dello stato di fatto, risulta come spesso gli impianti siano stati installati in modo casuale e senza tener realmente conto delle necessità degli utenti e del risparmio energetico, puntando invece alla soluzione economicamente più conveniente. Attraverso l'utilizzo di semplici indicatori energetici e/o di convenienza è possibile valutare la necessità di intervenire e sottoporre a verifica lo stato generale dell'impianto di illuminazione.<sup>1</sup>

È necessario intervenire sugli impianti per rendere l'illuminazione virtuosa se:

1. Sono ancora in funzione lampade ai vapori di mercurio oppure lampade con qualsiasi altro tipo di sorgente che presentano valori troppo bassi di efficienza luminosa e di indici di resa cromatici;
2. Sono impiegate vecchie armature ad esempio senza schermatura o a boccia che presentano un pessimo stato;
3. La qualità dell'illuminazione risulta essere pessima: zone non illuminate uniformemente e requisiti minimi illuminotecnici non rispettati.
4. Consumo di energia superiore ai valori di riferimento;
5. Mancanza di riduzione/ regolazione notturna.

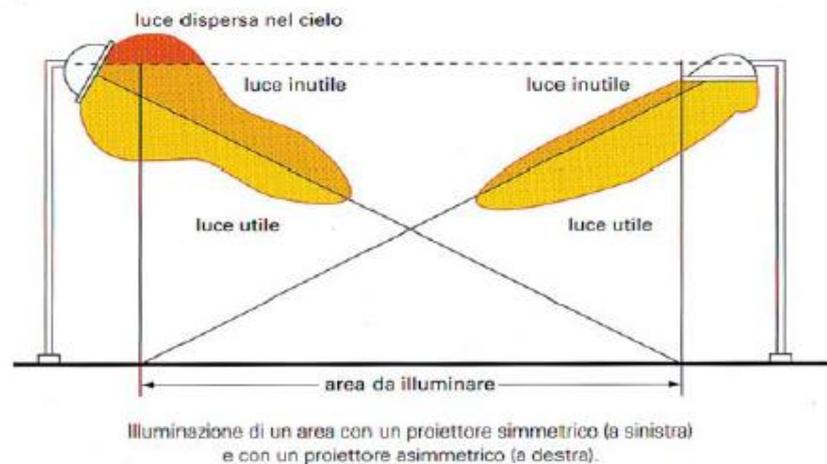
Per progettare in modo efficiente gli impianti di illuminazione esterna bisogna tener conto di tre parametri fondamentali: sicurezza, inquinamento luminoso e i consumi energetici.

Proprio a partire dalla sicurezza, nasce l'esigenza di illuminare i luoghi esterni. Risulta necessario infatti, garantire livelli di illuminamento tali da avere un'adeguata percezione degli oggetti, in particolare degli ostacoli e allo stesso tempo evitare i fenomeni di abbagliamento sia dei pedoni che dei veicoli. Con il termine sicurezza però si vuole indicare anche la sicurezza fisica e psicologica delle persone e la tutela dei luoghi in modo da poter "vivere" l'ambiente esterno notturno come lo si vive di giorno ed evitare fenomeni di aggressioni ed atti vandalici.

---

<sup>1</sup> Linee guida operative per la realizzazione di impianti di Pubblica illuminazione- Grattieri, Menga, 2012

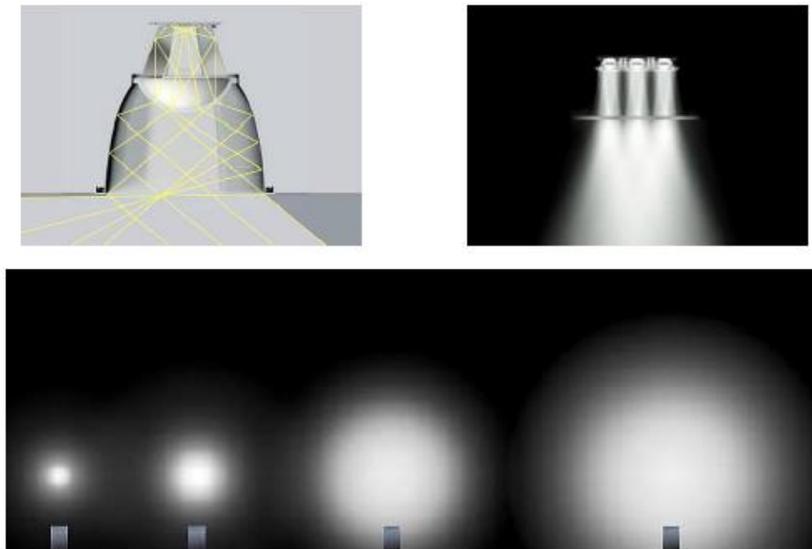
Un altro parametro fondamentale della progettazione efficiente ed attenta agli sprechi energetici degli impianti di illuminazione esterna, risulta il controllo del flusso luminoso emesso verso la volta celeste. Esso risulta fortemente legato sia alla sicurezza che al tema del risparmio energetico. Infatti per quanto riguarda il primo aspetto, l'inquinamento luminoso è un fenomeno che può essere limitato attraverso la buona progettazione ed il rispetto della normativa vigente in materia, ma non si può parlare di eliminarlo del tutto dal momento che si verificherebbero problemi per la sicurezza stradale e visiva delle persone. D'altra parte invece le soluzioni progettuali indirizzate al risparmio energetico non sono necessariamente coerenti con gli aspetti associati alla limitazione dell'inquinamento luminoso.<sup>2</sup>



**Figura1**-Esempio di dispersione dell'emissione della luce con due diversi apparecchi illuminanti

L'ultimo parametro da prendere in considerazione in fase di progettazione è il consumo energetico troppo elevato degli impianti di illuminazione esterna. Esso può essere limitato già in fase di progettazione tramite l'utilizzo di nuove tecnologie sia in termini di regolazione del flusso emesso, sia con l'impiego di nuovi apparecchi di illuminazione e di sorgenti innovative come i moduli LED, che presentano efficienza luminosa molto alta. Ad esempio un corpo illuminante con sorgente LED e un'ottica performante può evitare l'installazione di un numero eccessivo di punti luce al fine di conseguire una riduzione della potenza assorbita e dei consumi di energia. Non solo la sorgente deve avere un'efficienza luminosa elevata ma risulta molto importante scegliere apparecchi luminosi contraddistinti da prestazioni illuminotecniche performanti.

<sup>2</sup> Illuminazione urbana e scenari di progettazione-Report RdS/2011/195-ENEA



**Figura2**-Esempi di alcune tipologie di ottiche performanti (ErcO illuminazione)

Il contenimento dei consumi energetici può essere inoltre ottenuto tramite lo strumento di controllo degli impianti e regolazione della potenza assorbita dagli apparecchi illuminanti. Ciò può avvenire attuando la regolazione statica, molto semplice e per questo molto usata e che agisce in base ai profili orari di utilizzo degli ambienti esterni oppure grazie allo sviluppo di tecnologie innovative, come la regolazione adattiva che si basa sul concetto di “energy on demand” e sul monitoraggio di parametri come il flusso di traffico e le condizioni atmosferiche della zona in esame. In tal modo il sistema di controllo e regolazione, appositamente programmati, diventano un supporto fondamentale anche per le attività di manutenzione e gestione dell’impianto garantendo consumi bassissimi, un monitoraggio costante e una manutenzione limitata grazie alla segnalazione tempestiva dei guasti e un aumento della vita media delle lampade.

In termini generali la riduzione dei consumi energetici può essere attuata tramite:

- la scelta nella progettazione, sia delle lampade più efficienti disponibili sul mercato, considerando aspetti legati alla potenza, al flusso luminoso emesso e alla luminanza , sia di apparecchi di illuminazione performanti, scelti in base alle elevate prestazioni energetiche, alle caratteristiche ottimali sia elettriche che del blocco ottico e alla possibilità di installare all’interno degli apparecchi stessi sistemi innovativi come i profili di regolazione personalizzati ;
- la limitazione dell’illuminazione alle sole aree che necessitano di essere effettivamente illuminate;
- la limitazione dei livelli di illuminazione al minimo valore imposto dalla norma, sfavorendo i sovrailluminamenti delle zone;
- l’attuazione di buone pratiche gestionali degli impianti per la regolazione del flusso luminoso emesso dagli apparecchi in base alle esigenze degli utenti e all’utilizzo degli ambienti;
- la limitazione di lampade e apparecchi a bassa efficienza e che non rispettino i requisiti minimi di sostenibilità;

-l'utilizzo di apparecchi d'illuminazione che in modo preferenziale illuminino dall'altro verso il basso, evitando emissione di luce diretta e diffusa sopra l'orizzonte

Una progettazione e una gestione intelligente della luce artificiale è quindi alla base per un'illuminazione adatta ad ogni necessità, mentre un'illuminazione inadeguata ed eccessiva produce inquinamento luminoso e spreco energetico.<sup>3</sup>

## **CAPITOLO 2. Normativa di riferimento**

Gli Obiettivi nazionali di efficienza energetica per il 2020, perseguiti dagli Stati Membri dell'Unione Europea, hanno spinto nel 2011 la Commissione Europea a proporre un unico strumento giuridico destinato a regolamentare in modo efficiente l'approvvigionamento e il consumo finale dell'energia.

In Italia, nel Luglio del 2011 è stata redatta la bozza del nuovo Piano d'azione per l'efficienza energetica (PAEE) che si basa sulla precedente edizione del 2007 e integra le nuove direttive dell'UE. Al PAEE poi si affianca il Piano d'Azione Nazionale per le energie rinnovabili (PAN) emanato dal Ministero dello Sviluppo economico e dal Ministero dell'ambiente e i vari Piani Energetici Regionali e Comunali per regolare gli interventi in campo energetico.

Il settore dell'illuminazione esterna risulta essere nel nostro Paese responsabile di un consumo elevato di energia elettrica dovuto all'utilizzo di sorgenti luminose non sempre di efficienza elevata e apparecchi caratterizzati da un basso valore di rendimento e di coefficiente di utilizzazione del flusso luminoso. Inoltre spesso si aggiunge, il problema del sovrailluminamento delle superfici rispetto ai requisiti minimi imposti dalle normative emanate dall'Ente Nazionale di Unificazione (UNI). Al problema dell'eccesso di illuminazione sia nelle aree pubbliche che private, si lega quello relativo all'inquinamento luminoso che è regolamentato in Italia a livello nazionale e regionale da una serie di leggi, mentre a livello Comunale lo strumento utilizzato è il piano regolatore per l'illuminazione Comunale (PRIC).

Il panorama normativo oggi disponibile permette quindi un'adeguata conoscenza in ambito di risparmio energetico e inquinamento luminoso e permette allo stesso tempo la realizzazione e l'adeguamento degli impianti di illuminazione per ottenere miglioramenti in ambito sia quantitativo che qualitativo.

### **2.1 Sicurezza e risparmio energetico**

La qualità dell'illuminazione esterna risulta un parametro importante sia in ambito di sicurezza che di risparmio energetico conseguibile grazie alle nuove tecnologie e agli strumenti di regolazione e gestione degli impianti. È indispensabile garantire una prestazione illuminotecnica che rispetti le norme, che in questo campo risultano essere la UNI EN 11248 e la serie CEN 13201 e che indicano come realizzare impianti di illuminazione per tutte le tipologie stradali.

---

<sup>3</sup> Ispra- L'illuminazione nelle aree urbane – Quaderni-Ambiente e Società 5/2011

### **2.1.1 La norma UNI EN 11248-*ILLUMINAZIONE STRADALE: scelta delle categorie illuminotecniche***

Dal 3 Ottobre 2007 è stato necessario sostituire la norma UNI EN 10439 precedentemente in vigore con la UNI EN 11248. Sono stati infatti presi in considerazione gli elementi fondamentali del documento europeo CEN/TRN13201-1 nel quale vengono collegate le categorie illuminotecniche al tipo di strada. Quindi con la UNI EN 11248:2007 vengono associate per la prima volta le strade definite dal codice della strada e dai Piani urbani del traffico, alle categorie illuminotecniche riportate nella parte 2 della UNI EN 13201. In tal modo è stato possibile prendere in considerazione anche l'efficienza degli impianti, connettendo le classi illuminotecniche di riferimento alla destinazione d'uso ed alle caratteristiche stradali.

La UNI EN 11248 si applica ad impianti di illuminazione fissi per offrire buone condizioni di visibilità con lo scopo di garantire la sicurezza e il buon smaltimento del traffico e di:

- classificare una zona esterna di studio e determinare le condizioni di illuminazione utilizzando le categorie illuminotecniche;
- fornire la procedura per la selezione delle categorie illuminotecniche;
- identificare aspetti che condizionano l'illuminazione permettendo il risparmio energetico.

Nel 2012 viene redatta una nuova versione della norma in cui sono state modificate la classificazione delle strade e la categoria illuminotecnica prima definita di "riferimento" è diventata categoria illuminotecnica di "ingresso". Infatti a monte di una valutazione delle caratteristiche specifiche dell'ambiente, grazie all'analisi dei rischi, il progettista individua una categoria illuminotecnica di "progetto", che potrà variare più o meno significativamente rispetto a quella iniziale. Tale procedura permette il conseguimento del risparmio energetico e la riduzione dell'impatto ambientale.

Inoltre all'interno della norma vengono definiti importanti elementi di studio e termini come ad esempio la complessità del campo visivo attraverso cui è possibile valutare quanto un utente può essere confuso, distratto od infastidito dagli elementi presenti all'interno del suo campo visivo o l'indice di aggressione che permette di valutare la sicurezza di una zona. Riguardo le condizioni di esercizio invece si inseriscono il parametro di influenza relativo al flusso del traffico istantaneo e la portata massima del traffico smaltibile dalla strada.

Viene inoltre descritta la procedura per l'individuazione delle categorie illuminotecniche essendo quest'ultime definite su tre livelli:

-Definizione della categoria Illuminotecnica di riferimento o di ingresso:

Avendo identificato il tipo di strada secondo la legislazione in vigore, si individua la categoria illuminotecnica di ingresso per la successiva analisi dei rischi;

- Definizione della categoria Illuminotecnica di progetto:

Si effettua “l’analisi dei rischi” valutando i parametri di influenza e considerando anche gli aspetti del contenimento dei consumi energetici. In seguito si può decidere se mantenere la categoria di riferimento come quella di progetto oppure se modificarla.

- Definizione della categoria Illuminotecnica di esercizio:

Si introducono uno o più categorie illuminotecniche di esercizio rispetto alle quali eseguire la progettazione illuminotecnica, specificando chiaramente le condizioni dei parametri di influenza

Nell’Ottobre del 2016 la norma è stata nuovamente aggiornata a seguito della pubblicazione ad inizio anno della nuova edizione delle norme europee UNI EN 13201.

Le principali novità introdotte con la nuova UNI EN 11248:2016 riguardano:

-un nuovo prospetto che lega la categoria illuminotecnica di riferimento alla classificazione delle strade;

-i parametri di influenza per l’analisi dei rischi vengono suddivisi in quelli costanti nel tempo e quelli variabili nel tempo. I primi vengono usati per la determinazione della categoria illuminotecnica di progetto e sono indicati nel Prospetto 2, mentre i secondi identificano la categoria illuminotecnica di esercizio e sono riportati nel Prospetto 3;

- indicazioni dettagliate per individuare correttamente le zone di studio nella progettazione dell’illuminazione delle intersezioni stradali;

-la riduzione consentita della categoria illuminotecnica di riferimento diventa al massimo pari a due, fatta eccezione per casi particolari.

-il sovradimensionamento dell’impianto: vengono specificati rigorosi criteri di contenimento della luminanza e dell’illuminamento;

-una migliore definizione delle zone di conflitto, delle relative griglie di calcolo e parametri di calcolo per le illuminazioni a raso;

-l’illuminazione adattiva del tipo FAI(full adaptive installation) e Tai(traffic adaptive installation) per i quali è possibile ridurre fino a quattro categorie illuminotecniche, quelle di progetto. Le specifiche tecniche di questa nuova tecnologia sono illustrate nell’Appendice D della normativa.

In conclusione la nuova UNI 11248 ottimizza la metodologia progettuale, puntando al risparmio energetico e alla conseguente riduzione dell’inquinamento luminoso dovuta al minor flusso luminoso installato e quindi alle minori dispersioni verso l’alto della luce riflessa dalle superfici illuminate.

<b>Tipo di strada</b>	<b>Descrizione del tipo di strada</b>	<b>Limiti di velocità [km h<sup>-1</sup>]</b>	<b>Categoria illuminotecnica di ingresso</b>
A1	Autostrade extraurbane	Da 130 a 150	M1
	Autostrade Urbane	130	
A2	Strade di servizio alle autostrade extraurbane	Da 70 a 90	M2
	Strade di servizio alle autostrade urbane	50	
B	Strade extraurbane principali	110	M2
	Strade di servizio alle strade extraurbane principali	Da 70 a 90	M3
C	Strade extraurbane secondarie(tipi C1 e C2) <sup>1)</sup>	Da 70 a 90	M2
	Strade extraurbane secondarie	50	M3
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	Da 70 a 90	M2
D	Strade urbane di scorrimento <sup>2)</sup>	70	M2
		50	
E	Strade urbane di quartiere	50	M3
F <sup>3)</sup>	Strade locali extraurbane(tipi F1 e F2) <sup>1)</sup>	Da 70 a 90	M2
	Strade locali extraurbane	50	M4
		30	C4/P2
	Strade locali urbane	50	M4
	Strade locali urbane:centri storici, isole ambientali,zone 30	30	C4/P1
	Strade locali urbane:altre situazioni	30	C4/P2
	Strade locali urbane:centri storici(utenti principali:pedoni,ammessi altri utenti)	5	C4/P2
	Strade locali interzonali	50	M3
30		C4/P2	
Fbis	Itinerari ciclo-pedonali <sup>4)</sup>	Non dichiarato	P2
	Strade a destinazione particolare <sup>1)</sup>	30	

1)Secondo il decreto ministeriale 5 Novembre 2001 N°6792  
2)Per le strade di servizio delle strade urbane di scorrimento,definita la categoria illuminotecnica per la strada principale ,si applica la categoria illuminotecnica con prestazione di luminanza immediatamente inferiore o la categoria comparabile con questa(prospetto 6)  
3)Vedere punto 6.3  
4)Secondo legge del 1 Agosto 2003 N°214 “Conversione in legge, con modificazioni del decreto legge 27 Giungo 2003 N°151,recante modifiche e integrazione al codice della strada”

**Tabella 1** -Classificazione della strade ed individuazione della categoria illuminotecnica di riferimento, Prospetto 2, UNI 11248:2016

<b>Parametro di influenza</b>	<b>Riduzione massima della categoria illuminotecnica</b>
Complessità del campo visivo normale	1
Assenza o bassa densità di zone di conflitto	1
Segnaletica cospicua nelle zone conflittuali	1
Segnaletica stradale attiva	1
Assenza di pericolo di aggressione	1

**Tabella 2** -Prospetto 2,Indicazione sulle variazioni della categoria illuminotecnica di ingresso in relazione ai parametri di influenza costanti nel lungo periodo,UNI EN 11248:2016

<b>Parametro di influenza</b>	<b>Riduzione massima della categoria illuminotecnica</b>
Flusso orario di traffico <50% rispetto alla portata di servizio	1
Flusso orario di traffico <25% rispetto alla portata di servizio	2
Riduzione della complessità nella tipologia di traffico	1

**Tabella 3** -Prospetto 3,Indicazione sulle variazioni della categoria illuminotecnica di ingresso in relazione ai parametri di influenza variabili nel tempo in modo periodico e casuale,UNI EN 11248:2016

### 2.1.3 Le norme UNI EN 13201

Il quadro normativo nazionale Italiano nell'ambito dell'illuminazione pubblica viene analizzato considerando la UNI EN 13201:2004 emanata dal CEI nel 2003 e composta da:

- EN 13201-2: Illuminazione stradale: Requisiti prestazionali
- EN 13201-3: Illuminazione stradale: Calcolo delle prestazioni
- EN 13201-4: Illuminazione stradale: Metodi di misurazione delle prestazioni

Nel mese di Dicembre 2015 è stata approvata una nuova versione della norma recepita dalla normativa italiana nel Novembre del 2016 con l'emanazione della UNI EN 13201:2016. Le parti 2,3,4 sono state riviste e ne è stata aggiunta una nuova con l'introduzione della UNI EN 13201-5:2016 " Illuminazione stradale: Indicazioni delle prestazioni energetiche"

**La UNI 13201-2:2004** prevede l'assegnazione, in base al tipo di strada, dei requisiti minimi assegnati ad ogni categoria illuminotecnica definita tramite la UNI 11248. A seconda dei casi si distinguono valori di luminanza, illuminamento, abbagliamento e uniformità che dovranno essere rispettati durante la progettazione per soddisfare le esigenze degli utenti di tipo motorizzato o ciclopedonale.

Le categorie possono essere suddivise in quattro macro gruppi:

1. Categoria ME e MEW: strade urbane o extraurbane con traffico motorizzato con manto prevalentemente asciutto, dove è possibile applicare il calcolo della luminanza.
2. Categoria CE: strade motorizzate e pedonali in cui sono presenti zone conflittuali come rotonde, incroci, strade con pedoni e ciclisti, parcheggi e marciapiedi per cui non è possibile calcolare i valori di luminanza.
3. Categoria S e A: aree ad utilizzo ciclopedonale o marciapiedi e parcheggi in cui sono definiti gli illuminamenti orizzontali nel primo caso e emisferici nel secondo.
4. Categoria EV e ES: aree ad utilizzo ciclopedonale o marciapiedi e parcheggi in cui sono definiti gli illuminamenti semicilindrici o verticali dove è importante il riconoscimento dei volti o delle superfici verticali.

Con l'approvazione della nuova normativa nel 2016 le categorie sono state ridefinite e riviste per adeguare il più possibile la norma alle indicazioni della nuova CIE 115:2010 e alle leggi e regolamenti dei paesi membri dell'Unione Europea.

A seguire vengono illustrate le modifiche adottate nella EN 13201-2:2016 e per un confronto diretto vengono riportate le tabelle relative alle principali categorie illuminotecniche e i parametri da rispettare secondo la norma del 2004 e quella aggiornata del 2016

EN 13201-2:2004		EN 13201-2:2016
ME + MEW	→	M
CE	→	C
S + A	→	P +HS
EV + ES	→	SC+EV

Categoria	Luminanza della carreggiata in condizioni di manto asciutto			Abbagliamento debilitante	Illuminazione di contiguità
	L minima mantenuta [cd/m <sup>2</sup> ]	U <sub>0</sub> minima	U <sub>1</sub> minima	TI massimo [%]	SR minimo
ME1	2,0	0,4	0,7	10	0,5
ME2	1,5	0,4	0,7	10	0,5
ME3a	1,0	0,4	0,7	15	0,5
ME3b	1,0	0,4	0,6	15	0,5
ME3c	1,0	0,4	0,5	15	0,5
ME4a	0,75	0,4	0,6	15	0,5
ME4b	0,75	0,4	0,5	15	0,5
ME5	0,5	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,3	0,35	0,4	15	0,5

Tabella 4 –Categorie illuminotecniche serie ME,UNI EN 13201-2:2004

Categoria	Luminanza della carreggiata in condizioni di manto asciutto			Abbagliamento debilitante	Illuminazione di contiguità
	L minima mantenuta [cd/m <sup>2</sup> ]	U <sub>0</sub> minima	U <sub>1</sub> minima	TI massimo [%]	EIR minimo
M1	2,0	0,4	0,7	10	0,35
M2	1,5	0,4	0,7	10	0,35
M3	1,0	0,4	0,7	15	0,30
M4	0,75	0,4	0,6	15	0,30
M5	0,5	0,35	0,4	15	0,30
M6	0,3	0,35	0,4	20	0,30

Tabella 5 –Categorie illuminotecniche serie M,UNI EN 13201-2:2016

Categoria	Illuminamento orizzontale		Abbagliamento debilitante
	E <sub>m</sub> minimo mantenuto [lux]	U <sub>0</sub>	TI massimo [%]
CE0	50	0,4	10
CE1	30	0,4	10
CE2	20	0,4	10
CE3	15	0,4	10
CE4	10	0,4	15
CE5	7,5	0,4	15

Tabella 6 –Categorie illuminotecniche serie CE,UNI EN 13201-2:2004

Categoria	Illuminamento orizzontale	
	$\bar{E}_{\min}$ [lux] (minimo mantenuto)	$U_0$ (minima)
C0	50	0,40
C1	30	0,40
C2	20,0	0,40
C3	15,0	0,40
C4	10,0	0,40
C5	7,5	0,40

**Tabella 7** –Categorie illuminotecniche serie C,UNI EN 13201-2:2016

Categoria	Illuminamento orizzontale		Abbagliamento debilitante
	$E_m$ minimo mantenuto [lux]	$E_{\min}$	TI massimo [%]
S1	15	5	15
S2	10	3	15
S3	7,5	1,5	15
S4	5	1	20
S5	3	0,6	20
S6	2	0,6	20
S7	Non determinato	Non determinato	-

**Tabella 8** –Categorie illuminotecniche serie S,UNI EN 13201-2:2004

Categoria	Illuminamento orizzontale		Requisiti aggiuntivi se è necessario il riconoscimento facciale	
	$\bar{E}_m$ [lx]	$E_{\min}$ [lx]	$E_{v,\min}$	$E_{sc,\min}$
P1	15,0	3,0	5,0	5,0
P2	10,0	2,0	3,0	2,0
P3	7,5	1,5	2,5	1,5
P4	5,0	1,0	1,5	1,0
P5	3,0	0,6	1,0	0,6
P6	2,0	0,4	0,6	0,2
P7	Non determinato	Non determinato		

**Tabella 9** –Categorie illuminotecniche serie P,UNI EN 13201-2:2016

Nella **UNI EN 13201-3** vengono invece stabilite le convenzioni e gli algoritmi per il calcolo dei parametri fotometrici da confrontare con quelli definiti nella UNI 13201:2.

Le modifiche effettuate alla terza parte della normativa nella versione del 2016 riguardano:

- il calcolo dell'abbagliamento TI, in modo da poter tener conto dei rari casi in cui gli apparecchi di illuminazione siano molto vicini alla linea di vista. Inoltre i limiti di abbagliamento TI sono introdotti anche per le classi P e C;
- il parametro SR(Surround Ratio o Rapporto di contiguità) che viene sostituito dal nuovo parametro EIR(Edge illuminance Ratio o Rapporto di bordo);

-l'introduzione di una tabella per la gestione dei numeri decimali nei risultati numerici. In particolare si arrotonda a due cifre decimali dopo la virgola per tutte le grandezze fotometriche ad esclusione degli illuminamenti orizzontali fra 10 e 20 lx e maggiori di 20 lx;

La **UNI EN 13201-4** specifica i metodi e gli strumenti di misura delle prestazioni fotometriche di un impianto di illuminazione.

La novità fondamentale della **EN 13201:2016** risulta però essere quella relativa alla **parte 5** della normativa in cui sono definiti alcuni parametri utili alla valutazione energetica degli impianti.

I due parametri principali sono:

-D<sub>P</sub>-Indicatore di densità di Potenza (PDI-Power Density Index);

-D<sub>E</sub>-Indicatore del Consumo Annuale di Energia (AECI-Annual Energy Consumption Indicator);

che vengono applicati a tutte le aree di traffico che rientrano nella categorie M,P e C definite dalle EN 13201-2. I due indici devono essere utilizzati contemporaneamente.

L'indice D<sub>P</sub> valuta in particolare l'efficacia di un sistema di illuminazione di convertire la potenza elettrica in potenza luminosa mentre il D<sub>E</sub> valuta il consumo annuale di energia delle aree da illuminare e risulta utile per verificare l'efficacia dei sistemi di regolazione rispetto agli impianti con funzionamento 100% delle ore previste.

### **2.1.2 La norma UNI EN 12464-2 : Illuminazione dei posti di lavoro. Parte 2:posti di lavoro in esterno**

La presente norma viene utilizzata per definire i requisiti illuminotecnici nei posti di lavoro in esterno. Infatti essa specifica i requisiti per garantire sufficienti livelli di comfort visivo e prestazione visiva ai lavoratori che svolgono la loro attività in luoghi esterni. Nessuna specifica viene però indicata per i requisiti illuminotecnici riguardanti la sicurezza e la salute dei lavoratori sul luogo di lavoro.

I parametri illuminotecnici principali presi in considerazione dalla norma sono l'illuminamento medio mantenuto E<sub>m</sub>, su cui si basa il calcolo illuminotecnico e l'abbagliamento, valutato attraverso l'indice di abbagliamento che è dato per ogni compito visivo, zona o attività. Allo stesso modo caratteristiche fondamentali da rispettare e riportate nei prospetti della norma risultano essere il valore minimo di uniformità generale U<sub>0</sub> e dell'indice di resa del colore Ra.

Per quanto riguarda il risparmio energetico invece, la norma UNI EN 12464-2 pone attenzione al fatto che l'impianto di illuminazione deve prestare attenzione ai consumi energetici e soddisfare i requisiti di illuminazione del luogo senza compromettere l'aspetto visivo.

## 2.2 L'Inquinamento luminoso

Secondo la Starlight Initiative dell'Unesco l'inquinamento luminoso è "l'alterazione della quantità naturale di luce presente nell'ambiente notturno dovuta ad immissione di luce naturale" ed è dovuto alla quota dispersa verso l'alto di flusso luminoso, emessa dagli apparecchi di illuminazione e che non raggiunge le aree a cui è funzionalmente dedicata. Un'ulteriore quota di inquinamento luminoso è dovuta alla diffusione di flusso luminoso riflesso da superfici che vengono illuminate in quantità superiori a quella necessaria richieste per esigenze di sicurezza degli utenti.

Le cause principali di tale fenomeno sono da ricercarsi sia in un'eccessiva e inadeguata illuminazione notturna che da lampade che presentano un'indicatrice fotometrica non idonea ed anche da una non corretta gestione e manutenzione degli impianti.

### 2.2.1 La norma UNI 10819:1999-Luce e illuminazione-Impianti di illuminazione esterna-Requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso

La prima legge nazionale italiana in materia di inquinamento luminoso è stata la 10819:1999 emanata dall'Ente Nazionale di Unificazione nel 1999. In tale normativa vengono prescritti i requisiti che devono avere gli impianti di illuminazione esterna per la limitazione della dispersione verso l'alto di flusso luminoso proveniente da sorgenti di luce artificiale e per preservare la volta celeste.

I vari tipi di impianti di illuminazione esterna vengono classificati in cinque gruppi in ordine decrescente in base alla sicurezza stradale ed individuale

TIPO A	Impianti dove la sicurezza è di carattere prioritario, per esempio illuminazione pubblica di strade, aree a verde pubblico, aree a rischio, grandi aree
TIPO B	Impianti sportivi, impianti di centri commerciali e ricreativi, impianti di giardini e parchi privati
TIPO C	Impianti di interesse ambientale e monumentale
TIPO D	Impianti pubblicitari realizzati con apparecchi di illuminazione
TIPO E	Impianti a carattere temporaneo ed ornamentale, quali per esempio le luminarie natalizie

**Tabella 10**-Tipologie degli impianti di illuminazione, UNI 10819:1999

Inoltre la norma stabilisce la suddivisione del territorio in tre zone, definite in base alla vicinanza ai siti di osservazione astronomica

ZONA 1	Zona altamente protetta ad illuminazione limitata(per esempio: osservatori astronomici o astrofisici di rilevanza internazionale). Raggio dal centro di osservazione $r=5$ km
ZONA 2	Zona protetta intorno alla zona 1 o intorno ad osservatori a carattere nazionale e/o di importanza divulgativa. Raggio dal centro di osservazione $r=5$ km, 10 km o 25 km, in funzione dell'importanza dal centro.
ZONA 3	Territorio nazionale non classificato in Zona 1 e 2

**Tabella 11**-Individuazione delle zone protette secondo la UNI 10819:1999

In base alla zona di appartenenza e alla tipologia di impianto viene introdotto il rapporto medio di emissione superiore **R<sub>n</sub>** per valutare l'inquinamento luminoso e viene definito come rapporto tra la somma dei flussi luminosi superiori e la somma di tutti i flussi totali emessi da n apparecchi di illuminazione.

Nella seguente tabella vengono indicati i valori massimi di R<sub>n</sub> per i Comuni in cui è presente il Piano regolatore dell'Illuminazione Comunale (PRIC):

<b>R<sub>n,max</sub> [%]</b>			
<b>Tipo di impianto</b>	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>	<b>Zona 3</b>
A B C D	1	5	10
E	Non ammessi	Ammessi solo se soggetti ad orario regolamentato	Ammessi

**Tabella 12**-Valori massimi di R<sub>n</sub> per le diverse tipologie di impianto quando è presente il PRIC-UNI 10819:1999

Valori diversi di R<sub>n</sub> si assumono invece nei casi in cui il PRIC non sia presente o in caso in cui si rileva particolare difficoltà a calcolare i flussi luminosi superiori quali illuminazioni dal basso verso l'alto di monumenti o di edifici a contorno complesso e per impianti di potenza nominale fino a 5 kW. Per tali situazioni si rimanda al testo completo della normativa.

## **2.2.2 Legge Regionale 24 Marzo 2000, n.31 –*Disposizioni per la prevenzione e lotta all'inquinamento luminoso e per il corretto impiego delle risorse energetiche***

Per regolamentare il sistema illuminazione e colmare il deficit normativo nazionale in materia di inquinamento luminoso, alcune regioni italiane hanno stabilito che i nuovi impianti debbano essere conformi alle norme CEI(Comitato Elettrotecnico Italiano) e UNI(Ente Italiano di Unificazione) che tramite la norma UNI 10819:1999, definiscono i requisiti di qualità dell'illuminazione stradale e delle aree esterne per limitare l'inquinamento luminoso e conseguire il risparmio energetico.

L'articolo 1 della L.R. 31/2000 della Regione Piemonte presenta le finalità della legge:

- a) la riduzione dell'inquinamento luminoso ed ottico nel contesto di una più generale razionalizzazione del servizio di illuminazione pubblica con particolare attenzione alla riduzione dei consumi e al miglioramento dell'efficienza luminosa degli impianti;
- b) la salvaguardia dei bioritmi naturali delle piante e degli animali ed in particolare delle rotte migratorie dell'avifauna dai fenomeni di inquinamento luminoso;
- c) il miglioramento dell'ambiente conservando gli equilibri ecologici delle aree naturali protette, ai sensi della legge 6 dicembre 1991, n. 394 (Legge quadro sulle aree protette);
- d) la riduzione dei fenomeni di abbagliamento e affaticamento visivo provocati da inquinamento ottico al fine di migliorare la sicurezza della circolazione stradale;
- e) la tutela dei siti degli osservatori astronomici professionali e di quelli non professionali di rilevanza regionale o provinciale, nonché delle zone loro circostanti, dall'inquinamento luminoso;
- f) il miglioramento della qualità della vita e delle condizioni di fruizione dei centri urbani e dei beni ambientali monumentali e architettonici.

Negli Articoli 4 e 8 sono indicate le competenze della Regione:

1. La Regione adegua ai principi della presente legge i propri regolamenti nei settori edili ed industriali e definisce appositi capitolati tipo per l'illuminazione pubblica.
2. La Regione, in coerenza con la normativa nazionale e regionale in materia di efficienza energetica, favorisce l'adeguamento degli impianti esistenti alle norme antinquinamento anche attraverso apposite forme di incentivazione.
3. La Giunta regionale, con proprio provvedimento, potrà individuare ulteriori criteri tecnici da osservare per le nuove installazioni e l'adeguamento di quelle esistenti, nonché le fattispecie da sottoporre a collaudo.(Articolo 3-Norme Tecniche)
4. la Giunta regionale, con apposita deliberazione, individua le aree del territorio regionale che presentano caratteristiche di più elevata sensibilità all'inquinamento luminoso e redige l'elenco dei comuni ricadenti in tali aree particolarmente sensibili ai fini dell'applicazione della presente legge.

L'articolo 5 espone le competenze della Provincia:

1. Le province definiscono apposite linee guida per l'applicazione della presente legge, con particolare riguardo alle norme tecniche di cui all'articolo 3.

2. Le province esercitano il controllo sul corretto e razionale uso dell'energia da illuminazione esterna da parte dei comuni e degli enti o organismi sovracomunali ricadenti nel loro territorio e provvedono a diffondere i principi dettati dalla presente legge; esercitano, altresì, la sorveglianza e l'applicazione delle sanzioni previste dalla presente legge sugli impianti di illuminazione privati.
3. Le province intervengono, con il provento delle sanzioni:
  - a. potenziare il servizio di controllo;
  - b. finanziare iniziative volte alla diffusione della finalità della presente legge;
  - c. istituire uno sportello di supporto tecnico per i comuni ai fini dell'applicazione della presente legge.

L'Articolo 6 infine, enuncia le competenze dei Comuni:

1. I comuni con popolazione superiore ai 50 mila abitanti e, facoltativamente, quelli con popolazione superiore ai 30 mila abitanti, approvano Piani regolatori dell'illuminazione che, in relazione alle loro specificità territoriali, sono finalizzati a ridurre l'inquinamento luminoso ottico e a migliorare l'efficienza luminosa degli impianti.
2. I comuni che non approvano il Piano regolatore dell'illuminazione di cui al comma 1, osservano le linee guida definite dalla provincia di riferimento, ai sensi dell'articolo 5, comma 1.
3. Nell'esame delle pratiche edilizie relative a interventi di ristrutturazione o nuova costruzione, gli organi tecnici comunali verificano che gli impianti di illuminazione esterna correlati all'intervento siano conformi alle prescrizioni di cui alla legge 5 marzo 1990, n. 46 (Norme per la sicurezza degli impianti), modificata dal decreto del Presidente della Repubblica 18 aprile 1994, n. 392, e alle disposizioni di cui alla presente legge.
4. I comuni autorizzano, in conformità alle norme tecniche di cui all'articolo 3, la realizzazione di nuovi impianti di illuminazione nelle aree di cui all'articolo 8, compresi quelli a scopo pubblicitario, nonché le modifiche ed estensioni di impianti esistenti.
5. I comuni controllano che, nelle aree a più elevata sensibilità, le nuove installazioni dei privati, comprese quelle a scopo pubblicitario o le modifiche sostanziali di impianti siano conformi alla presente legge.

Inoltre le normative regionali, proprio in questi due ambiti, hanno introdotto altri strumenti di pianificazione del territorio come il Piano regolatore per l'illuminazione Comunale (PRIC) per la regolazione dell'illuminazione sia pubblica che privata.

In Piemonte, la legge regionale L.R. 30/2000 è stata inoltre affiancata dalla pubblicazione da parte della Provincia di Torino delle “ Linee Guida per la limitazione dell'inquinamento luminoso e del consumo energetico” per fornire indicazioni di orientamento ai Comuni della Provincia al fine di svolgere una corretta progettazione degli impianti di illuminazione esterna sia pubblica che privata, in conformità a quanto previsto dalla L.R. 30/2000.

Le linee guida sono suddivise in quattro parti:

1. Nella prima parte il concetto di inquinamento luminoso viene analizzato tenendo in considerazione la riduzione dell'inquinamento luminoso, la sostenibilità ambientale, il risparmio energetico e la qualità della luce;
2. La seconda parte descrive la normativa tecnica e la legislazione in materia di inquinamento luminoso;

3. Nella terza parte viene descritta la situazione in Piemonte tramite la definizione delle aree a maggiore sensibilità all'inquinamento luminoso appartenenti al territorio regionale, alle relative zone di pertinenza e ai valori di soglia;
4. La quarta sezione definisce i metodi per la progettazione illuminotecnica di ambienti esterni coerenti agli obiettivi assunti. Inoltre sono analizzate le soluzioni tecnologiche e le strategie di gestione degli impianti.

Recentemente il Consiglio Regionale della Regione Piemonte ha approvato un nuovo testo aggiornato con la **Legge Regionale 9 febbraio 2018, n° 3**, contenente elementi correttivi ed integrativi degli articoli della Legge Regionale 24 marzo 2000, n. 31.

In particolare è stata introdotta la modalità di operazione per gli interventi di retrofit degli impianti a LED e la finalità nella buona pratica di intervenire per ridurre l'inquinamento luminoso ottico e migliorare l'efficienza luminosa degli impianti.

Inoltre vengono vietate le emissioni luminose definite da fasci di luce fissi o roteanti che disperdono luce verso l'alto fatta eccezione per alcuni particolari tipologie di illuminazione, e vengono imposti i requisiti tecnici minimi che gli impianti di illuminazione esterni pubblici e privati devono possedere.

Grazie al nuovo articolo 3 della legge del 9 Febbraio 2018, è stabilito che gli impianti devono essere realizzati "sulla base di un progetto illuminotecnico redatto e sottoscritto da un professionista abilitato, con i contenuti prescritti dalle norme tecniche e di sicurezza di settore"<sup>4</sup>. Di particolare utilità per la corretta selezione delle sorgenti luminose e degli apparecchi degli impianti di illuminazione al fine di attenersi a quanto indicato dalla normativa in esame, risulta essere l'allegato A alla L.R. 31/2000 previsto dall'Articolo 3, di cui se ne riporta parte del testo:

"Gli impianti installati o modificati dopo l'entrata in vigore della deliberazione legislativa approvata dal Consiglio regionale il 1° febbraio 2018 (Modifiche alla legge regionale 24 marzo 2000, n. 31 (Disposizioni per la prevenzione e lotta all'inquinamento luminoso e per il corretto impiego delle risorse energetiche) osservano contemporaneamente i seguenti requisiti tecnici minimi:

- a) sono costituiti da apparecchi illuminanti aventi, nella posizione di installazione un'intensità luminosa massima compresa fra 0 e 0.49 candele(cd) e per 1000 lumen (lm) di flusso luminoso totale emesso per angoli gamma maggiori o uguali a 90 gradi;
- b) sono equipaggiati con sorgenti luminose ad elevata tecnologia quali, al sodio ad alta pressione o analoghe, ma con efficienza delle sorgenti, per le lampade tradizionali, o dei moduli di sorgenti, per sorgenti a led, superiore ai 90 lumen su watt (lm/W) e una temperatura di colore uguale o inferiore a 3500 Kelvin (K);
- c) mantengono una luminanza media delle superfici da illuminare o illuminamenti non superiori ai livelli minimi previsti dalle normative tecniche di sicurezza con le relative tolleranze di misura;
- d) hanno l'efficienza minima prescritta dai presenti criteri, ed in particolare:
  1. impiegano, nei nuovi impianti di illuminazione di percorsi, quali strade e percorsi pedonali e ciclabili, rapporti fra interdistanza e altezza delle sorgenti luminose superiore al valore di 3,7, fatta salva la prescrizione

---

<sup>4</sup> Legge regionale 9 febbraio 2018, n. 3. Modifiche alla legge regionale 24 marzo 2000, n. 31 (Disposizioni per la prevenzione e lotta all'inquinamento luminoso e per il corretto impiego delle risorse energetiche).

dell'impiego di lampade con la minore potenza installata in relazione al tipo di percorso ed alla sua classificazione illuminotecnica; sono comunque consentite: - soluzioni alternative, solo in presenza di ostacoli quali alberi, incroci principali e tornanti; - soluzioni con apparecchi lungo entrambi i lati della strada, bilaterali frontali, solo se necessarie, e solamente per carreggiate con larghezza superiore a 10 metri;

2. sono realizzati con apparecchi che garantiscono, a parità di luminanza o illuminamento, impegni ridotti di potenza elettrica, e ridotti costi manutentivi, con indice parametrizzato di efficienza dell'apparecchio illuminante (IPEA) uguale o superiore a quello minimo prescritto dai criteri minimi ambientali ministeriali (CAM);
  3. perseguono un indice parametrizzato di efficienza dell'impianto di illuminazione (IPEI) uguale o superiore a quello minimo prescritto nei CAM; per le riqualificazioni che prevedono la sola sostituzione o retrofitting a led degli apparecchi, in cui non cambia la configurazione dell'impianto esistente, possono essere adottati indici IPEI inferiori se si dimostra di aver fatto il possibile per massimizzarli;
- e) sono provvisti di sistemi in grado di ridurre e controllare il flusso luminoso in misura uguale o superiore al 30 per cento rispetto al pieno regime di operatività entro le ore 24, oppure ne prevedono lo spegnimento entro le ore 24 o la gestione per tutta la notte con sensore di movimento; tali prescrizioni non si applicano se gli impianti sono dotati di sistemi di illuminazione adattiva, funzionanti secondo le prescrizioni delle norme tecniche e di sicurezza;
- f) per quanto non espressamente indicato e disposto dalla l.r. 31/2000 si applicano i CAM.”<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Modifiche alla legge regionale 24 marzo 2000, n. 31- allegato A previsto dall'Articolo 3

## 2.3 Il Piano Nazionale d'azione sul Green Public Procurement (PAN GPP)

La politica europea degli ultimi anni ha introdotto una serie di regolamenti per l'immissione sul mercato di nuovi prodotti che abbiano il minor impatto possibile sull'ambiente durante l'intero ciclo di vita. Uno degli strumenti sviluppati dalle istituzioni europee in questo ambito, è la Politica integrata di prodotto (IPP) al cui interno viene individuato come strumento fondamentale: il **Green Public Procurement (GPP-Acquisiti Pubblici Verdi)**. Al fine di indirizzare i vari processi di produzione e consumo verso la sostenibilità ambientale, La Commissione Europea ha elaborato un piano normativo per gli acquisti verdi e ha definito i Criteri Minimi Ambientali, esortando gli stati membri ad elaborare dei Piani d'Azione nazionali al fine di favorire la diffusione del GPP presso gli enti pubblici.

Nell'Aprile del 2008 in Italia è stato adottato il "Piano d'Azione per la sostenibilità ambientale dei consumi nella Pubblica Amministrazione" denominato PAN GPP.

Il PAN GPP definisce gli obiettivi nazionali, identifica le categorie di beni, servizi e lavori per i quali definire i criteri ambientali minimi (CAM) e fornisce linee di indirizzo per gli Enti Pubblici che hanno il compito di:

- a. analizzare i propri fabbisogni e razionalizzare i consumi;
- b. identificare le funzioni competenti per l'attuazione del GPP, coinvolte nel processo d'acquisto;
- c. stilare un programma interno con l'obiettivo di implementare le azioni in ambito del GPP;

I Criteri Ambientali Minimi riguardano diverse categorie di beni e servizi tra cui anche l'illuminazione pubblica e in questo settore i CAM hanno lo scopo di promuovere l'adeguamento degli impianti esistenti o la realizzazione di nuovi impianti rispettando le esigenze di sicurezza degli utenti e allo stesso tempo assicurando un ridotto impatto ambientale. Ciò è perseguibile nell'ambito dell'illuminazione pubblica tramite:

-l'ottimizzazione dell'uso delle risorse energetiche;

-l'eliminazione di sostanze pericolose sia per l'ambiente sia per la salute dell'uomo nei processi e nei prodotti;

-la riduzione dell'inquinamento luminoso;<sup>6</sup>

I CAM per l'illuminazione pubblica forniscono indicazioni tecniche e considerazioni di carattere ambientale ed etico-sociale per quanto riguarda:

-la sostituzione di lampade HID (high intensity discharge lamps) e sistemi LED all'interno di impianti esistenti;

-la sostituzione dei soli corpi illuminanti senza la modifica dei relativi supporti;

-la realizzazione di un nuovo impianto al fine di individuare nuovi criteri per consentire le migliori prestazioni ed il minor impatto ambientale;

---

<sup>6</sup> Ispra- L'illuminazione nelle aree urbane-Quaderni-Ambiente e Società 5/2011

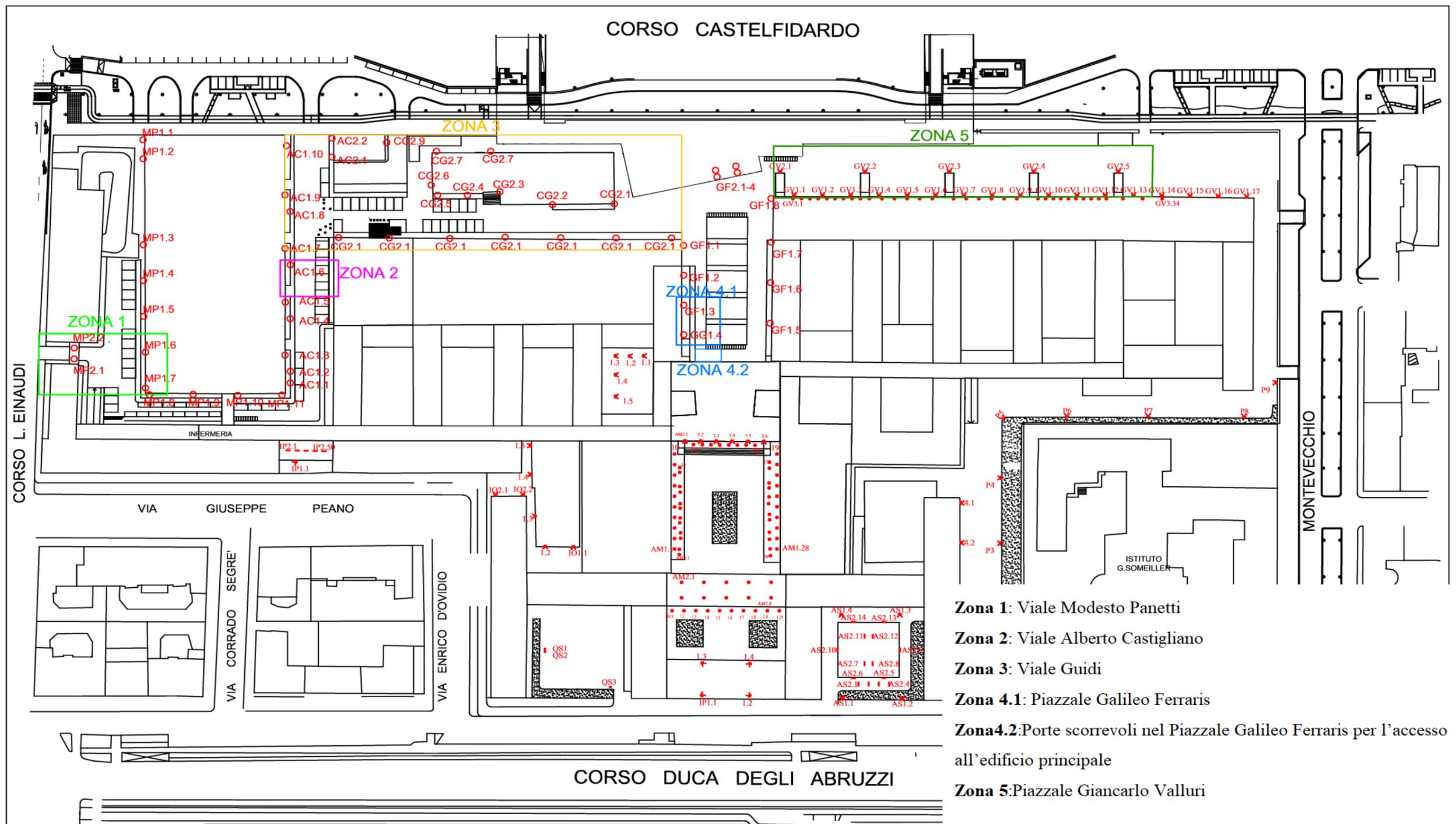


Figura 3-Pianta generale e posizionamento apparecchi attuali nelle aree esterne del Politecnico di Torino

## CAPITOLO 3. Studio preliminare e ipotesi di progetto

L'area del Politecnico oggetto di analisi, interessa lo spazio delimitato ad Ovest da Corso Castel Fidardo, a Sud da Corso Luigi Einaudi, ad Est dall'Aula Magna di Corso Duca degli Abruzzi e a Nord da Corso Motevecchio e corrisponde ai viali e cortili esterni presenti tra la sede Centrale del Politecnico di Torino e la Cittadella.

La finalità della seguente analisi è quella di individuare possibili soluzioni per l'efficientamento energetico degli impianti di illuminazione in modo da ottenere una migliore prestazione illuminotecnica e allo stesso modo ridurre i consumi di energia elettrica. Infatti da analisi effettuate dal "Living Lab" del Politecnico è emerso come la struttura debba sostenere proprio durante le ore notturne una spesa non indifferente dovuta all'energia elettrica consumata e che una possibile fonte sia rappresentata proprio dall'illuminazione esterna della sede Centrale.

Inizialmente si è analizzato lo stato di fatto dell'illuminazione oggetto di studio, considerando parametri come il tipo di sorgente luminosa, la sua potenza nominale e la potenza totale assorbita dagli impianti.

In particolare si è reso evidente uno studio più approfondito nelle quattro zone evidenziate nella **Figura 3**:

- **Zona 1:** Viale Modesto Panetti
- **Zona 2:** Viale Alberto Castigliano
- **Zona 3:** Viale Guidi
- **Zona 4.1:** Piazzale Galileo Ferraris
- **Zona 4.2:** Porte scorrevoli nel Piazzale Galileo Ferraris per l'accesso all'edificio principale
- **Zona 5:** Piazzale Giancarlo Valluri

Tale scelta è stata dettata dal fatto che gli impianti di illuminazione presenti nelle zone individuate, risultano obsoleti rispetto alla restante parte, in cui interventi recenti hanno permesso di aggiornare le tecnologie installate nel corso degli anni, prestando così maggior attenzione ai consumi energetici.

### 3.1 Analisi dello stato di fatto e classificazione degli impianti

Secondo la classificazione indicata nelle linee guida della L.R. 31/200 nell'area analizzata, si individuano due tipi fondamentali di apparecchi illuminanti alimentati con lampade ai vapori di sodio ad alta pressione(SAP) e dotati di alimentatori elettronici. Il primo corrisponde alla classe di apparecchi di tipo funzionale mentre l'altro rientra tra i proiettori. Si rileva anche la presenza di sorgenti ad ioduri metallici(JM) e fluorescenti compatte(CFL),in minor numero.

Di seguito si riporta una classificazione dei corpi illuminanti indicati nelle schede con diversi puntini colorati e in cui oltre ad alcune informazioni di carattere generale, vengono precisate le prestazioni fotometriche e energetiche individuate.

### DISPOSIZIONE DELLE SORGENTI LUMINOSE NELLA ZONA PANETTI-CASTIGLIANO

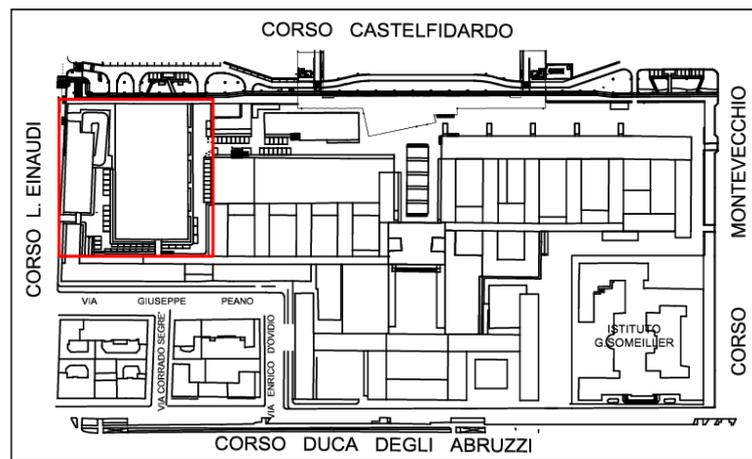
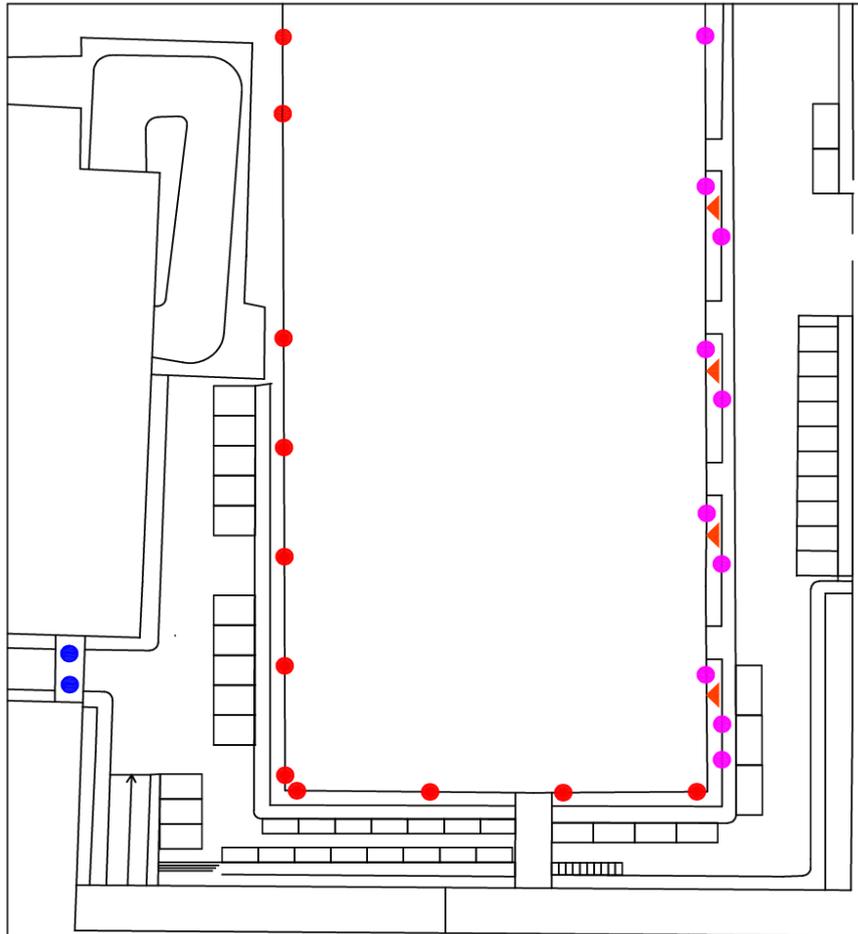


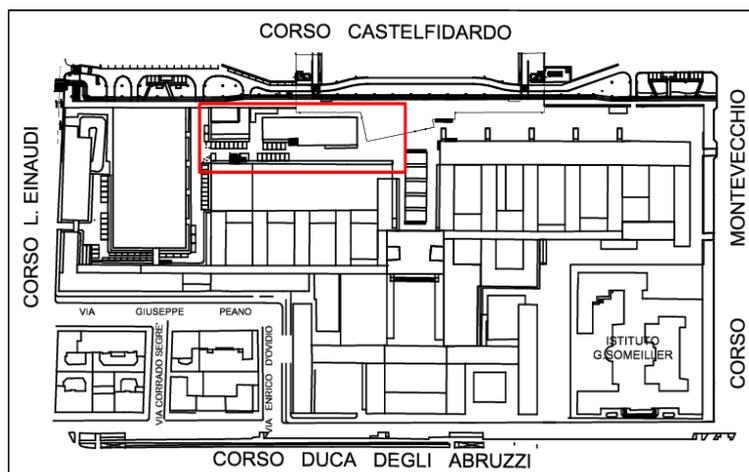
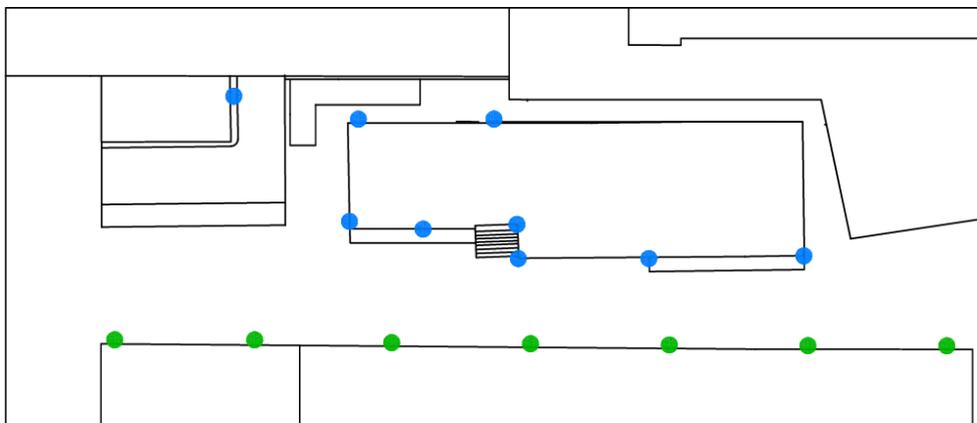
Figura 4- Illuminazione esterna Viale Panetti e Viale Castigliano

<b>● ID APPARECCHIO: MP1</b>	<b>N° APPARECCHI: 11</b>
<b>Ripresa fotografica serale:</b> 	<b>Ripresa fotografica diurna:</b> 
<b>Interdistanza tra i corpi illuminanti[m]: 16,5</b>	<b>Altezza di installazione[m]: 8</b>
<b>Tipo di sorgente luminosa: SAP</b>	
<b>POTENZA [W] : 250</b>	<b>POTENZA TOTALE ASSORBITA [W] : 2826</b>
<b>Efficienza luminosa iniziale[lm/W]: 120</b>	<b>Temperatura di colore correlata[K]: 2000</b>
<b>Indice di resa cromatica[-]: 25</b>	<b>Durata di vita media[h]: 36000</b>
<b>Fattore di mantenimento del flusso luminoso(16000h)[%]: 95</b>	<b>Fattore di sopravvivenza(16000h) [%]: 98</b>

<b>● ID APPARECCHIO: AC1</b>	<b>N° APPARECCHI: 10</b>
<b>Ripresa fotografica serale:</b> 	<b>Ripresa fotografica diurna:</b> 
<b>Interdistanza tra i corpi illuminanti[m]: 16 m</b>	<b>Altezza di installazione[m]: 4</b>
<b>Tipo di sorgente luminosa: SAP</b>	
<b>Efficienza luminosa iniziale[lm/W]: 120</b>	<b>POTENZA TOTALE ASSORBITA [W] : 2230</b>
<b>Indice di resa cromatica[-]: 25</b>	<b>Temperatura di colore correlata[K]: 2000</b>
<b>Fattore di mantenimento del flusso luminoso(16000h)[%]: 95</b>	<b>Durata di vita media[h]: 36000</b>
	<b>Fattore di sopravvivenza(16000h) [%]: 98</b>

<b>● ID APPARECCHIO: MP2</b>	<b>N° APPARECCHI: 2</b>
<b>Ripresa fotografica serale:</b> 	<b>Ripresa fotografica diurna:</b> 
<b>Interdistanza tra i corpi illuminanti: 3,4 m</b>	<b>Altezza di installazione: 5 m</b>
<b>Tipo di sorgente luminosa: SAP</b>	<b>POTENZA [W] : 250</b>
<b>Efficienza luminosa iniziale[lm/W]:105</b>	<b>Temperatura di colore correlata[K]: 2000</b>
<b>Indice di resa cromatica[-]: 25</b>	<b>Durata di vita media[h]: 36000</b>

## DISPOSIZIONE DELLE SORGENTI LUMINOSE NELLA ZONA GUIDI



**Figura 5-Illuminazione esterna Viale C.Guidi**

<b>● ID APPARECCHIO: CG1</b>	<b>N° APPARECCHI: 7</b>
<b>Ripresa fotografica serale:</b> 	<b>Ripresa fotografica diurna:</b> 
<b>Interdistanza tra i corpi illuminanti[m]: 14,8</b>	<b>Altezza di installazione[m]: 11</b>
<b>POTENZA [W] : 250</b>	<b>POTENZA TOTALE ASSORBITA [W] : 1326</b>
<b>Tipo di sorgente luminosa: SAP</b>	<b>Efficienza luminosa iniziale[lm/W]: 127</b>
<b>Indice di resa cromatica[-]: 25</b>	<b>Durata di vita media[h]: 36000</b>
<b>Temperatura di colore correlata[K]: 2000</b>	
<b>Fattore di mantenimento del flusso luminoso(16000h)[%]: 95</b>	<b>Fattore di sopravvivenza(16000h) [%]: 98</b>

<b>● ID APPARECCHIO: CG2</b>	<b>N° APPARECCHI: 9</b>
<b>Ripresa fotografica serale:</b> 	<b>Ripresa fotografica diurna:</b> 
<b>Interdistanza tra i corpi illuminanti:9,5-18 m</b>	<b>Altezza di installazione: 12 m</b>
<b>POTENZA [W] : 400</b>	<b>POTENZA TOTALE ASSORBITA [W] : 3700</b>
<b>Tipo di sorgente luminosa: SAP</b>	<b>Efficienza luminosa iniziale[lm/W]: 123</b>
<b>Indice di resa cromatica[-]: 25</b>	<b>Durata di vita media[h]: 28000</b>
<b>Temperatura di colore correlata[K]: 2000</b>	

## DISPOSIZIONE DELLE SORGENTI LUMINOSE NELLA ZONA FERRARIS

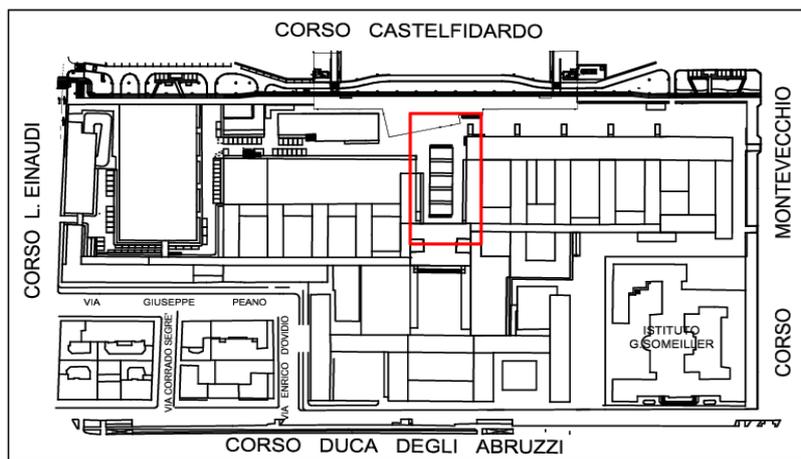
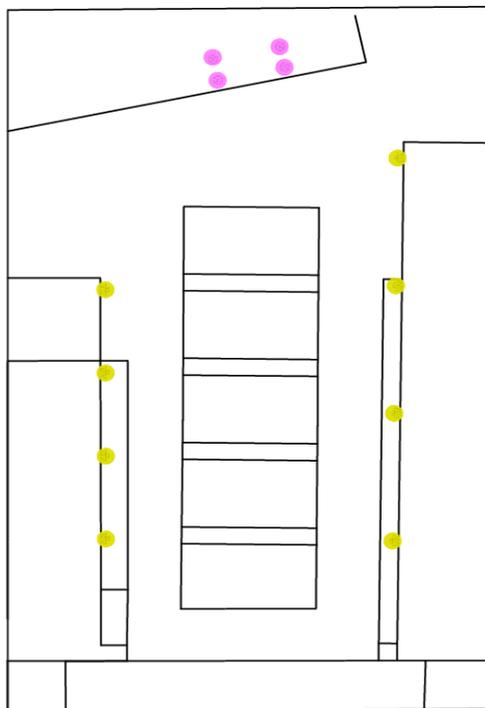


Figura 6- Illuminazione esterna Piazzale G.Ferraris

<b>ID APPARECCHIO: GF1</b>	<b>N° APPARECCHI: 8</b>
<b>Ripresa fotografica serale:</b> 	<b>Ripresa fotografica diurna:</b> 
<b>Interdistanza tra i corpi illuminanti: 8 m</b>	<b>Altezza di installazione: 8-12 m</b>
<b>POTENZA [W] : 250</b>	<b>POTENZA TOTALE ASSORBITA [W] : 2090</b>
<b>Tipo di sorgente luminosa: SAP</b>	<b>Efficienza luminosa iniziale[lm/W]: 127</b>
<b>Indice di resa cromatica[-]: 25</b>	<b>Durata di vita media[h]: 36000</b>
<b>Temperatura di colore correlata[K]: 2000</b>	
<b>Fattore di mantenimento del flusso luminoso(16000h)[%]: 95</b>	<b>Fattore di sopravvivenza(16000h) [%]: 98</b>

<b>ID APPARECCHIO: GF2</b>	<b>N° APPARECCHI: 4</b>
<b>Ripresa fotografica serale:</b> 	<b>Ripresa fotografica diurna:</b> 
<b>Interdistanza tra i corpi illuminanti: 6 m</b>	<b>Altezza di installazione: 5 m</b>
<b>POTENZA [W] : 215</b>	<b>POTENZA TOTALE ASSORBITA [W] :</b>
<b>Tipo di sorgente luminosa: JM</b>	<b>Efficienza luminosa iniziale[lm/W]: 115</b>
<b>Indice di resa cromatica[-]: 90</b>	<b>Durata di vita media[h]: 30000</b>
<b>Temperatura di colore correlata[K]: 3000</b>	

## DISPOSIZIONE DELLE SORGENTI LUMINOSE NELLA ZONA VALLURI

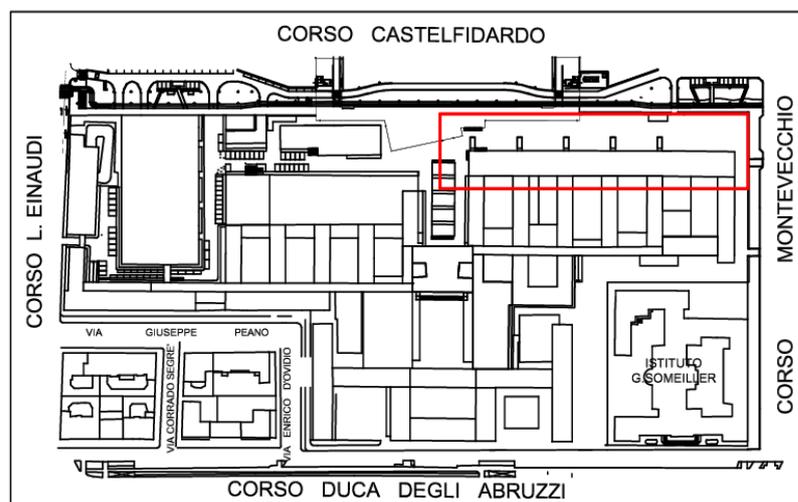
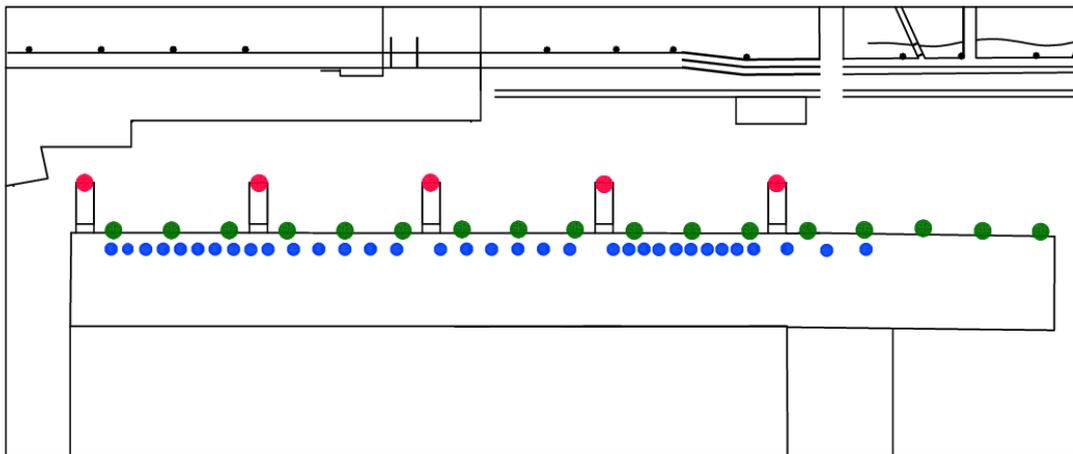
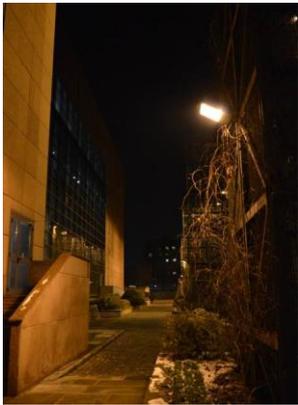
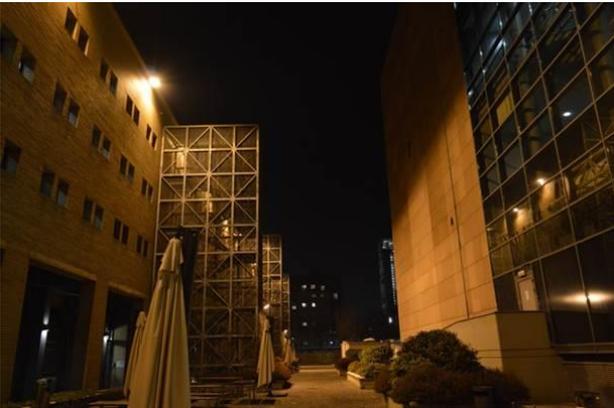


Figura 7- Illuminazione esterna Viale G. Valluri

<p><b>● ID APPARECCHIO: GV3</b></p> <p><b>Ripresa fotografica serale:</b></p> 	<p><b>N° APPARECCHI: 34</b></p> <p><b>Ripresa fotografica diurna:</b></p> 
<b>Interdistanza tra i corpi illuminanti: 2,5 m</b>	<b>Altezza di installazione: 2 m</b>
<b>POTENZA [W] : 28</b>	<b>POTENZA TOTALE ASSORBITA [W] : 952</b>
<b>Tipo di sorgente luminosa: CFL</b>	<b>Efficienza luminosa iniziale[lm/W]: 63</b>
<b>Indice di resa cromatica[-]: 80</b>	<b>Durata di vita media[h]: 6000</b>
<b>Temperatura di colore correlata[K]: 6500</b>	

<p><b>● ID APPARECCHIO: GV2</b></p> <p><b>Ripresa fotografica serale:</b></p> 	<p><b>N° APPARECCHI: 5</b></p> <p><b>Ripresa fotografica diurna:</b></p> 
<b>Interdistanza tra i corpi illuminanti: 24,7 m</b>	<b>Altezza di installazione: 4 m</b>
<b>POTENZA [W] : 250</b>	<b>POTENZA TOTALE ASSORBITA [W] : 1250</b>
<b>Tipo di sorgente luminosa: SAP</b>	<b>Efficienza luminosa iniziale[lm/W]: 127</b>
<b>Indice di resa cromatica[-]: 25</b>	<b>Durata di vita media[h]: 36000</b>
<b>Temperatura di colore correlata[K]: 2000</b>	
<b>Fattore di mantenimento del flusso luminoso(16000h)[%]: 95</b>	<b>Fattore di sopravvivenza(16000h) [%]: 98</b>

● <b>ID APPARECCHIO: GV1</b>	<b>N° APPARECCHI: 17</b>
<b>Ripresa fotografica serale:</b> 	<b>Ripresa fotografica diurna:</b> 
<b>Interdistanza tra i corpi illuminanti: 14,75 m</b>	<b>Altezza di installazione: 11 m</b>
<b>POTENZA [W] : 250</b>	<b>POTENZA TOTALE ASSORBITA [W] : 4250</b>
<b>Tipo di sorgente luminosa: SAP</b>	<b>Efficienza luminosa iniziale[lm/W]: 127</b>
<b>Indice di resa cromatica[-]: 25</b>	<b>Durata di vita media[h]: 36000</b>
<b>Temperatura di colore correlata[K]: 2000</b>	
<b>Fattore di mantenimento del flusso luminoso(16000h)[%]: 95</b>	<b>Fattore di sopravvivenza(16000h) [%]: 98</b>

### 3.2 Classificazione illuminotecnica

Analizzando lo stato di fatto degli impianti di illuminazione presenti, in primo luogo sono state individuate le caratteristiche costitutive e funzionali delle varie zone precedentemente individuate in Figura 1, per poi determinare le categorie illuminotecniche e i relativi requisiti prestazionali, secondo le norme UNI EN 11248:2016, la UNI EN 13201-2:2016 e la UNI EN 12464-2.

Al termine di questa analisi preliminare quindi, tutte le strade delle zone considerate sono state classificate, in accordo con il Codice della Strada, come **F-strade locali urbane: centri storici(utenti principali:pedoni,ammessi altri utenti)**,trattandosi di cortili o viali interni utilizzati per lo più come aree di parcheggio e carico/scarico mezzi.

Tipo di strada	Descrizione del tipo di strada	Limiti di velocità [km h <sup>-1</sup> ]	Categoria illuminotecnica di ingresso
A1	Autostrade extraurbane	Da 130 a 150	M1
	Autostrade Urbane	130	
A2	Strade di servizio alle autostrade extraurbane	Da 70 a 90	M2
	Strade di servizio alle autostrade urbane	50	
B	Strade extraurbane principali	110	M2
	Strade di servizio alle strade extraurbane principali	Da 70 a 90	M3
C	Strade extraurbane secondarie(tipi C1 e C2) <sup>1)</sup>	Da 70 a 90	M2
	Strade extraurbane secondarie	50	M3
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	Da 70 a 90	M2
D	Strade urbane di scorrimento <sup>2)</sup>	70	M2
		50	
E	Strade urbane di quartiere	50	M3
F <sup>3)</sup>	Strade locali extraurbane(tipi F1 e F2) <sup>1)</sup>	Da 70 a 90	M2
	Strade locali extraurbane	50	M4
		30	C4/P2
	Strade locali urbane	50	M4
	Strade locali urbane:centri storici, isole ambientali,zone 30	30	C4/P1
	Strade locali urbane:altre situazioni	30	C4/P2
	Strade locali urbane:centri storici(utenti principali:pedoni,ammessi altri utenti)	5	C4/P2
Strade locali interzonali	50	M3	
	30	C4/P2	
Fbis	Itinerari ciclo-pedonali <sup>4)</sup>	Non dichiarato	P2
	Strade a destinazione particolare <sup>1)</sup>	30	

1)Secondo il decreto ministeriale 5 Novembre 2001 N°6792  
2)Per le strade di servizio delle strade urbane di scorrimento,definita la categoria illuminotecnica per la strada principale ,si applica la categoria illuminotecnica con prestazione di luminanza immediatamente inferiore o la categoria comparabile con questa(prospetto 6)  
3)Vedere punto 6.3  
4)Secondo legge del 1 Agosto 2003 N°214 “Conversione in legge, con modificazioni del decreto legge 27 Giugno 2003 N°151,recante modifiche e integrazione al codice della strada”

**Tabella13** -Classificazione della strade ed individuazione della categoria illuminotecnica di riferimento, Prospetto 2 UNI 11248:2016

Secondo la norma UNI 11248 la categoria illuminotecnica di riferimento che è stata individuata, è la C4 per la parte destinata sia al transito veicolare che pedonale mentre la categoria P2 per i marciapiedi e gli stalli di sosta e le zone ciclopedonali.

A questa prima classificazione segue l'analisi dei rischi, in cui si valutano i parametri di influenza che permettono di individuare una categoria di illuminamento che garantisce la massima sicurezza degli utenti in condizioni notturne e allo stesso tempo minimizza i consumi energetici, i costi di installazione e di gestione e l'impatto ambientale. Tramite i prospetti 2 e 3 della UNI EN 11248:2016 si possono quindi identificare i parametri e le variazioni delle classi illuminotecniche definendo la così detta categoria illuminotecnica di esercizio.

<b>Parametro di influenza</b>	<b>Riduzione massima della categoria illuminotecnica</b>
Complessità del campo visivo normale	1
Assenza o bassa densità di zone di conflitto	1
Segnaletica cospicua nelle zone conflittuali	1
Segnaletica stradale attiva	1
Assenza di pericolo di aggressione	1

**Tabella 14** -Prospetto 2,Indicazione sulle variazioni della categoria illuminotecnica di ingresso in relazione ai parametri di influenza costanti nel lungo periodo,UNI EN 11248:2016

<b>Parametro di influenza</b>	<b>Riduzione massima della categoria illuminotecnica</b>
Flusso orario di traffico <50% rispetto alla portata di servizio	1
Flusso orario di traffico <25% rispetto alla portata di servizio	2
Riduzione della complessità nella tipologia di traffico	1

**Tabella 15** -Prospetto 3,Indicazione sulle variazioni della categoria illuminotecnica di ingresso in relazione ai parametri di influenza variabili nel tempo in modo periodico e casuale, UNI EN 11248:2016

Tutte le strade prese in considerazione sono cortili e viali interni della Sede Centrale del Politecnico, caratterizzate per lo più da flusso pedonale/ciclabile ma utilizzate anche come area di parcheggio e carico/scarico merci a causa della presenza dei Laboratori didattici. Si è rilevata una differenza sostanziale tra la situazione antecedente l'orario di chiusura dei cancelli del Politecnico e quella dalle ore 21:00 in poi.

In particolare è stata individuata la:

**SITUAZIONE A:** Dall'accensione degli impianti fino all'orario di chiusura dei cancelli di delimitazione, nei viali e nei cortili vi è la presenza sia di traffico veicolare ,in quanto sono numerose le autovetture parcheggiate o i furgoni che effettuano carico/scarico merci, come anche i pedoni che utilizzano queste zone quali luoghi di aggregazione e passaggio

tra un edificio e l'altro. Si prevede una maggiore necessità di illuminazione e sicurezza perciò gli impianti saranno accesi alla massima potenza.

**SITUAZIONE B:** Dalle ore 21:00 in poi l'accesso alle aree esterne del Politecnico viene negato quindi si rileva un forte decremento se non un'assenza di veicoli e pedoni. Per tale ragione si può pensare ad una riduzione della potenza degli apparecchi luminosi garantendo il minimo delle prestazioni illuminotecniche.

Analizzando i parametri di influenza costanti nel tempo del prospetto 2 della norma, le categorie illuminotecniche di progetto nella **SITUAZIONE A** sono state individuate dalle seguenti valutazioni:

Parametri di influenza costanti nel tempo	Analisi dei rischi	Variazione da Tab. #
Complessità del campo visivo	Nella norma	
Assenza o bassa densità di zone di conflitto	Nella norma	
Segnaletica cospicua nelle zone conflittuali	Non sufficiente	+1
Segnaletica stradale attiva	Nella norma	
Pericolo di aggressione	Minimo	-1
Indice di resa cromatica Ra<30	No	-1

**Tabella 16**-Indicazione dei parametri di influenza e delle variazioni di categoria illuminotecnica selezionati

Nelle zone conflittuali si rileva poca attenzione alla segnalazione dello spazio destinato ai pedoni/ciclisti e ai veicoli specialmente nei punti di ingresso dai cancelli, in corrispondenza dei punti di carico/scarico merci e all'ingresso dell'Asio Nido "Policino". Trattandosi di zone interne all'area del Politecnico il pericolo di aggressione risulta minimo e inoltre da ipotesi di progetto si prevede la sostituzione delle sorgenti vapore di sodio alta pressione con moduli LED ultima generazione con un indice di resa cromatica maggiore di 60.

Quindi si calcola una variazione globale  $\Delta=-1$  e le categorie illuminotecniche di progetto risulteranno esse la C5 e la P3.

Infine si sono analizzati i parametri di influenza variabili nel tempo, che determinano la categoria illuminotecnica di esercizio nella **SITUAZIONE B** considerando immutati i parametri costanti nel tempo, precedentemente individuati:

Parametri di influenza variabili nel tempo	Analisi dei rischi	Variazione da Tab. #
Flusso orario di traffico<50% ,rispetto alla portata di esercizio	no	
Flusso orario di traffico<25% ,rispetto alla portata di esercizio	no	
Riduzione della complessità della tipologia di traffico	si	-1

**Tabella 17**-Indicazione dei parametri di influenza e delle variazioni di categoria illuminotecnica selezionati

La variazione globale è pari a -1 poiché si tiene conto che il traffico dopo l'orario di chiusura sia pressoché inesistente.

Le categoria di esercizio individuata per le zone classificate con classe C non risulta declassata ulteriormente poiché non sono previste categorie con prestazioni inferiori a

quelle associate all'ultima categoria illuminotecnica definita nei prospetti della UNI EN 13201-2, mentre per le aree pedonali la categoria di esercizio diventa la P4.

La norma UNI EN 13201-2:2016 stabilisce i requisiti fotometrici minimi che devono essere rispettati per le precedenti classi illuminotecniche individuate.

Classi	Illuminamento orizzontale	
	$\bar{E}_{min}$ [lux] (minimo mantenuto)	$U_0$ (minima)
C0	50	0,40
C1	30	0,40
C2	20,0	0,40
C3	15,0	0,40
C4	10,0	0,40
C5	7,5	0,40

**Tabella 18**-Requisiti minimi delle classi illuminotecniche tipo C, UNI EN 13201-2:2016

Come doppia lettura dei requisiti di illuminamento medio sul piano orizzontale  $\bar{E}_m$  e uniformità generale  $U_0$ , ci si può riferire anche alla norma EN 12464-2:2014(E). Le aree individuate infatti, possono essere considerate come luoghi di lavoro all'esterno dove vi è la distinzione tra zone destinate ai pedoni (5.1.1) e zone per transito di veicoli che si spostano lentamente ad esempio le biciclette o le auto a velocità massima di 10km/h(5.1.2). Inoltre vi sono punti specifici individuati nelle zone Panetti e Castigliano in cui in presenza degli ingressi dei laboratori, avvengono attività di carico/scarico e che quindi richiedono un requisito di illuminamento medio più alto come indicato dalla presente norma al punto 5.1.4.

Ref.no.	Type of area,task or activity	$\bar{E}_m$ [lx]	$U_0$ -	$R_{GL}$ -	$R_a$ -	Specific requirements
5.1.1	Walkways exclusively for pedestrians	5	0,25	50	20	
5.1.2	Traffic areas for slowly moving vehicles(max. 10 km/h),e.g bicycles,trucks and excavators	10	0,40	50	20	
5.1.3	Regular vehicle traffic (max.40 km/h)	20	0,40	45	20	At shipyards and in docks, $R_{GL}$ may be 50
5.1.4	Pedestrian passages, vehicle turning,loading and unloading points	50	0,40	50	20	
5.1.5	Cleaning and servicing	50	0,25	50	20	All relevant surfaces

**Tabella 19**-Requisiti generali per le aree nei posti di lavoro all'esterno

Per le aree a prevalenza pedonale, oltre all'illuminamento medio e minimo sul piano orizzontale viene individuato l'illuminamento semicilindrico minimo come parametro aggiuntivo da considerare.

Categoria	Illuminamento orizzontale		Requisiti aggiuntivi se è necessario il riconoscimento facciale	
	$\bar{E}_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{v,min}$	$E_{sc,min}$
P1	15,0	3,0	5,0	5,0
P2	10,0	2,0	3,0	2,0
P3	7,5	1,5	2,5	1,5
P4	5,0	1,0	1,5	1,0
P5	3,0	0,6	1,0	0,6
P6	2,0	0,4	0,6	0,2
P7	Non determinato	Non determinato		

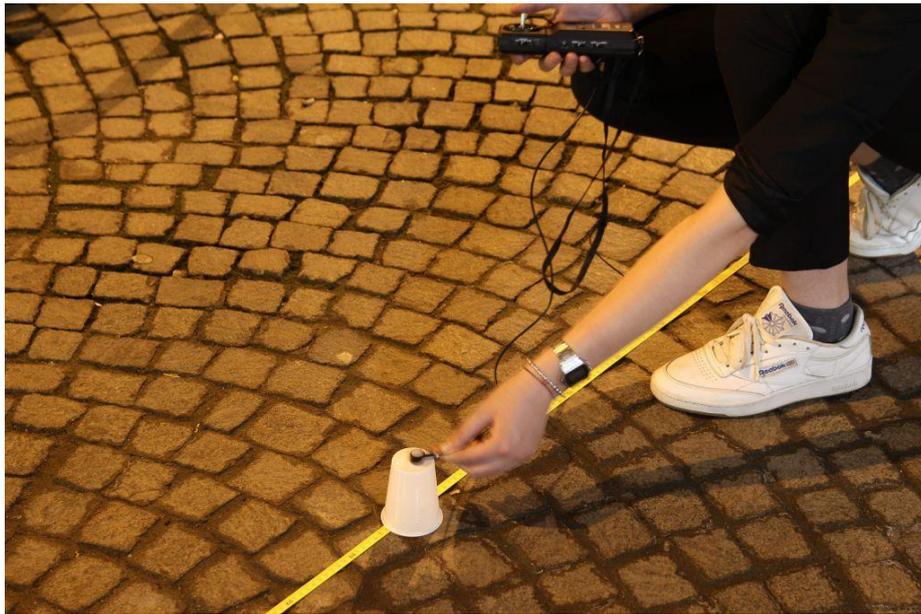
**Tabella 20**-Requisiti minimi delle classi illuminotecniche di tipo P, UNI EN 13201-2:2016

### 3.3 Misure di illuminamento

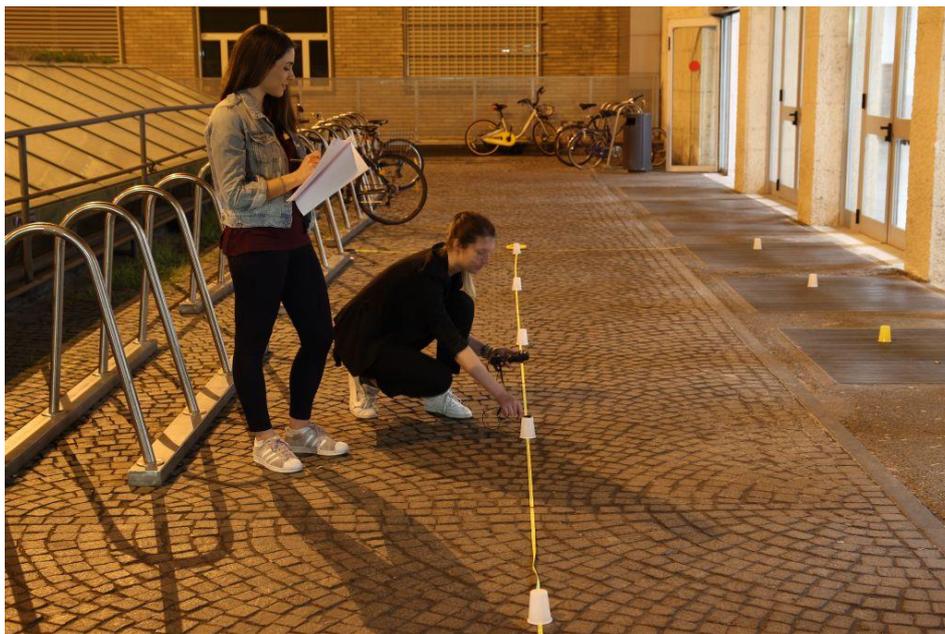
Per quanto riguarda le misure in campo degli illuminamenti orizzontale e semicilindrico, si è proceduto individuando inizialmente la sezione stradale delle zone 1, zona 2, zona 4.1 e 4.2 indicate in figura 1, in modo da caratterizzarle secondo la disposizione degli elementi come marciapiedi, stalli di sosta, zone veicolari e relativa locazione degli apparecchi illuminanti. In particolare si è notato che le Zona 1 e la Zona 2 sono interessate sia da traffico pedonale che veicolare e quindi rientrano nella categoria C5 assegnata alle zone di conflitto, mentre le Zona 3, la Zona 4 e la Zona 5 sono esclusivamente di tipo pedonale e quindi ci si riferirà alla categoria P, che varierà a seconda dell'orario di utilizzo. Inoltre si segnala che i marciapiedi e i parcheggi delle zone già classificate come conflittuali fanno riferimento alla categoria P per le indicazioni dei requisiti minimi da rispettare.

Per quanto riguarda la disposizione dei corpi illuminanti nelle Zone 1 e 3 essi sono installati sotto gronda mentre nella Zona 2 gli apparecchi sono agganciati alla passerella sopraelevata presente. Nella Zona 4, importante corridoio d'ingresso verso l'edificio principale, non vi è l'installazione di nessun corpo illuminante. Nella Zona 5 sono presenti sia apparecchi installati sotto gronda che su ognuna delle cinque colonne presenti, mentre le 34 fluorescenti compatte sono installate per illuminare il corridoio esterno su cui affacciano i laboratori.

Per le zone dalla uno alla quattro si è ritenuto necessario la misurazione in campo dell'Illuminamento orizzontale e semicilindrico al fine di ottenere un quadro completo dei parametri illuminotecnici delle zone in esame sul quale poter definire un piano di intervento. Per cui sono state create le corrispondenti griglie di punti, tenendo conto proprio delle caratteristiche delle zone precedentemente individuate. Per l'illuminamento sul piano orizzontale è stato utilizzato il **LUXMETRO Minolta T1-M** di cui si allega la scheda tecnica in Appendice A.1. Invece le misure di Illuminamento semicilindrico sono state eseguite tramite il **LUXMETRO PRC Krochmann Gmgh modello 106**, la cui scheda tecnica è allegata in Appendice A.2. Si tiene conto di questo ulteriore parametro per garantire un adeguato dominio visivo da parte dei pedoni sull'ambiente circostante in modo da identificare e prevenire le eventuali situazioni di pericolo. Il volto umano quindi viene approssimato ad un semicilindro e si valuta come la luce artificiale illumina la superficie curva di quest'ultimo.



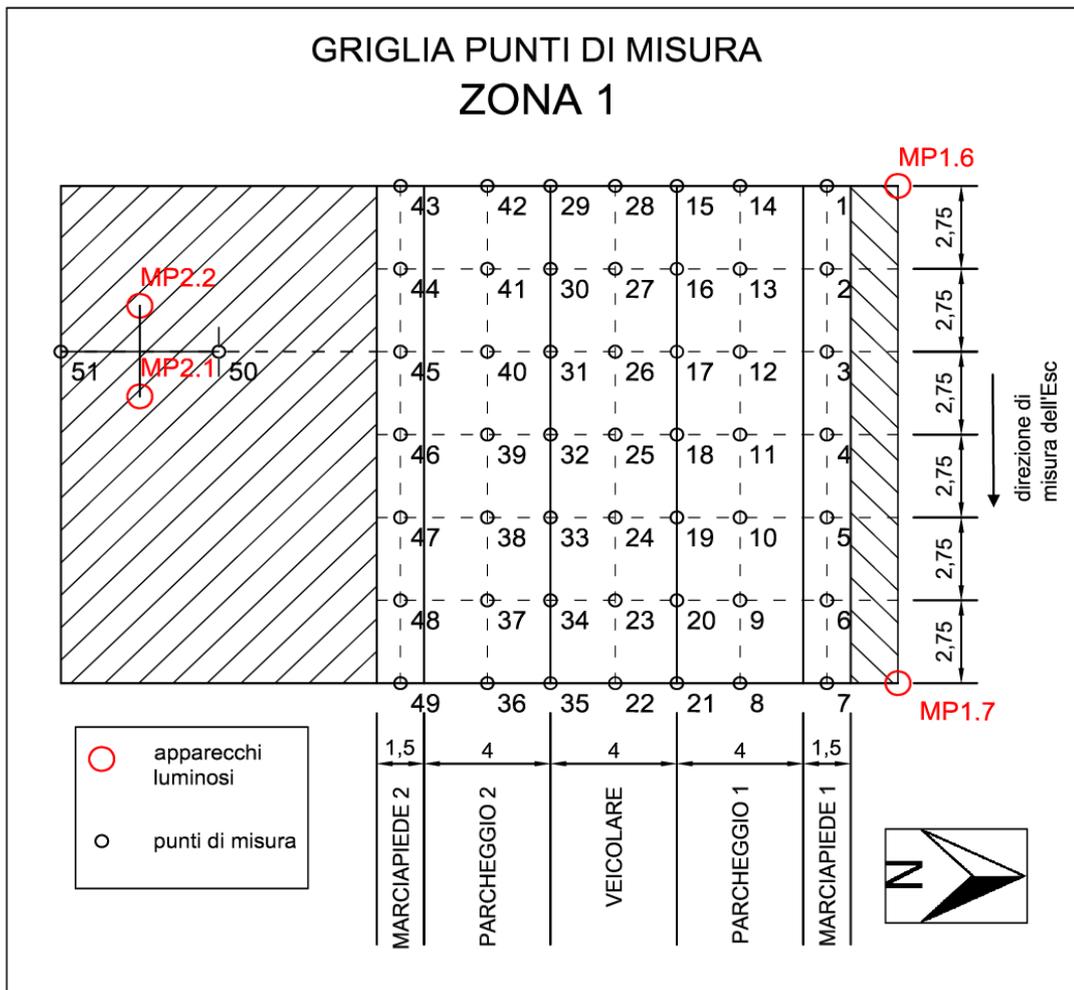
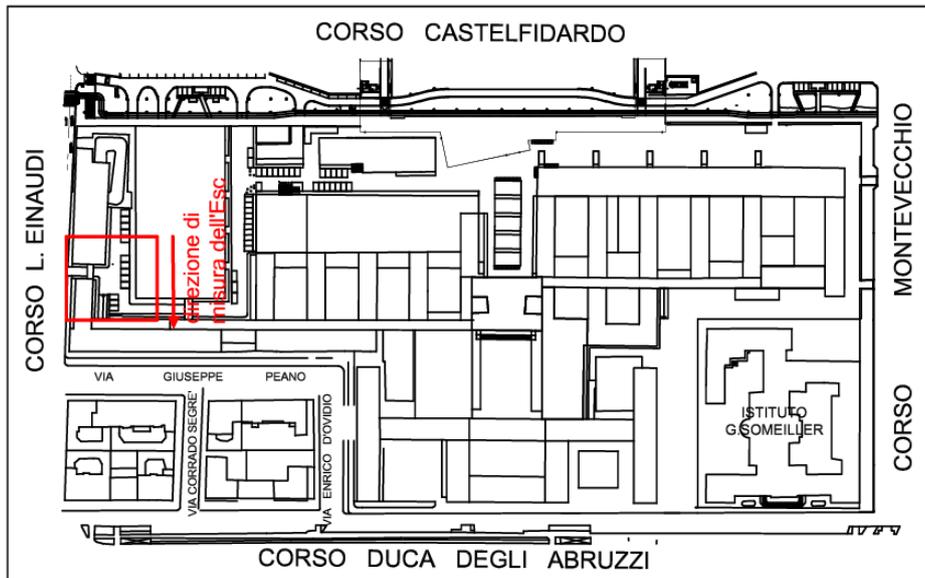
**Fotoripresa 1-** Misurazioni in campo dell'illuminamento orizzontale, Politecnico di Torino, 19 Aprile 2018 ore 21:30



**Fotoripresa 2-** Misurazioni in campo dell'illuminamento orizzontale, Politecnico di Torino, 19 Aprile 2018 ore 21:30

Di seguito vengono riportate per ogni zona le griglie di punti e le relative tabelle con le misure di Illuminamento sul piano orizzontale **E<sub>h</sub>** e l'Illuminamento semicilindrico **E<sub>sc</sub>**, entrambi misurati in **lux**:

**Viale Modesto Panetti**



**Figura 8-** Griglia dei punti di misurazione della Zona 1

Punto	Eh [lx]	Esc [lx]
1	39,9	14,8
2	36,3	13,1
3	33,7	13,5
4	34,3	15,2
5	31,9	16,5
6	30,4	13,1
7	28,9	9,4
8	33,8	
9	31,3	
10	28,9	
11	33,3	
12	34,1	
13	37,6	
14	38,9	
15	35,8	21,6
16	34,7	19,6
17	35,3	18,7
18	37,3	18,9
19	34,2	18,1
20	36,7	15,5
21	29,5	14,2
22	29,2	
23	33,1	
24	31,1	
25	32,9	

Punto	Eh [lx]	Esc [lx]
26	31,8	
27	34,1	
28	38,2	
29	28,5	11,8
30	29,3	14,2
31	27,8	17,2
32	28,6	19,8
33	28,3	22,6
34	33,5	24,4
35	40,6	28,9
36	46,3	
37	45,4	
38	45,2	
39	44,7	
40	42,9	
41	33,7	
42	32,3	
43	10,7	26,1
44	12,1	20,9
45	24,8	17,6
46	48,5	13,7
47	44,3	10,0
48	49,4	10,4
49	51,6	8,5
50	56,3	
51	56,2	

**Tabella 21-**Valori dell'Illuminamento orizzontale e semicilindrico nei punti della griglia della Zona 1

	$\bar{E}_m$	$E_{min}$	$E_{max}$	$U_0$	Esc,min
MARCIAPIEDE 1	33,6	28,9	39,9		9,4
PARCHEGGIO 1	34,4	28,9	38,9		14,2
VEICOLARE	32,9	29,2	38,2	0,9	
PARCHEGGIO 2	36,2	27,8	46,3		11,8
MARCIAPIEDE 2	39,3	10,7	56,3		8,5

**Tabella 22-** Illuminamento medio, minimo, massimo sul piano orizzontale, uniformità generale e illuminamento semicilindrico minimo

Viale Alberto Castigliano

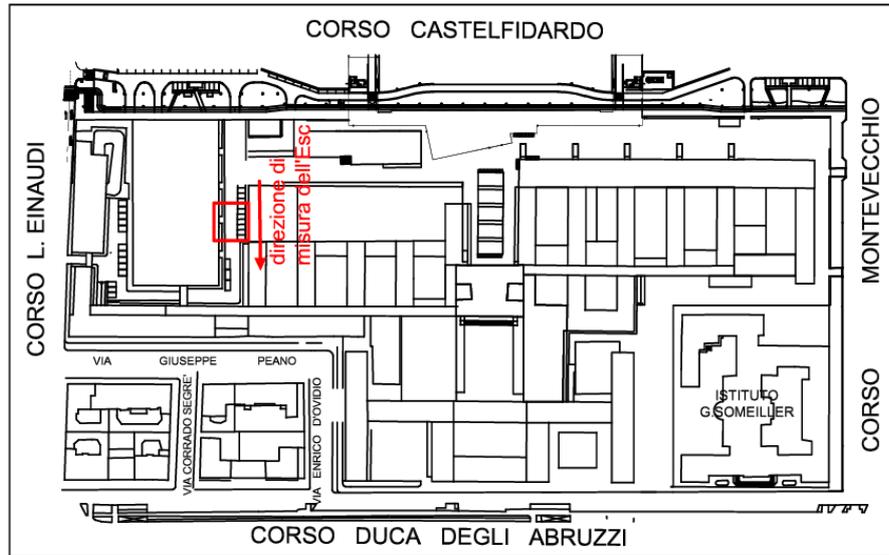


Figura 9- Griglia dei punti di misurazione della Zona 2

Punto	Eh [lx]	Esc [lx]
1	4,3	
2	4,7	
3	5,2	
4	4,3	
5	12,3	8,3
6	13,2	9,1
7	14,4	9,3
8	13,7	7,2
9	76,3	
10	56,9	
11	42,7	
12	34,5	
13	33,4	23,7
14	47,2	47,5
15	90,3	81,0
16	105	56,2

**Tabella 23-**Valori dell'Illuminamento orizzontale e semicilindrico nei punti della griglia della Zona  
2

	$\bar{E}_m$	$E_{min}$	$E_{max}$	U0	Esc,min
MARCIPIEDE 1	69,0	33,4	105		23,7
PARCHEGGIO	13,4	12,3	14,4		7,2
VEICOLARE	52,6	34,5	76,3	0,7	
MARCIPIEDE 2	4,6	4,3	5,2		

**Tabella 24-** Illuminamento minimo medio mantenuto, medio ,massimo sul piano orizzontale,uniformità generale e illuminamento semicilindrico minimo

Piazzale Galileo Ferraris

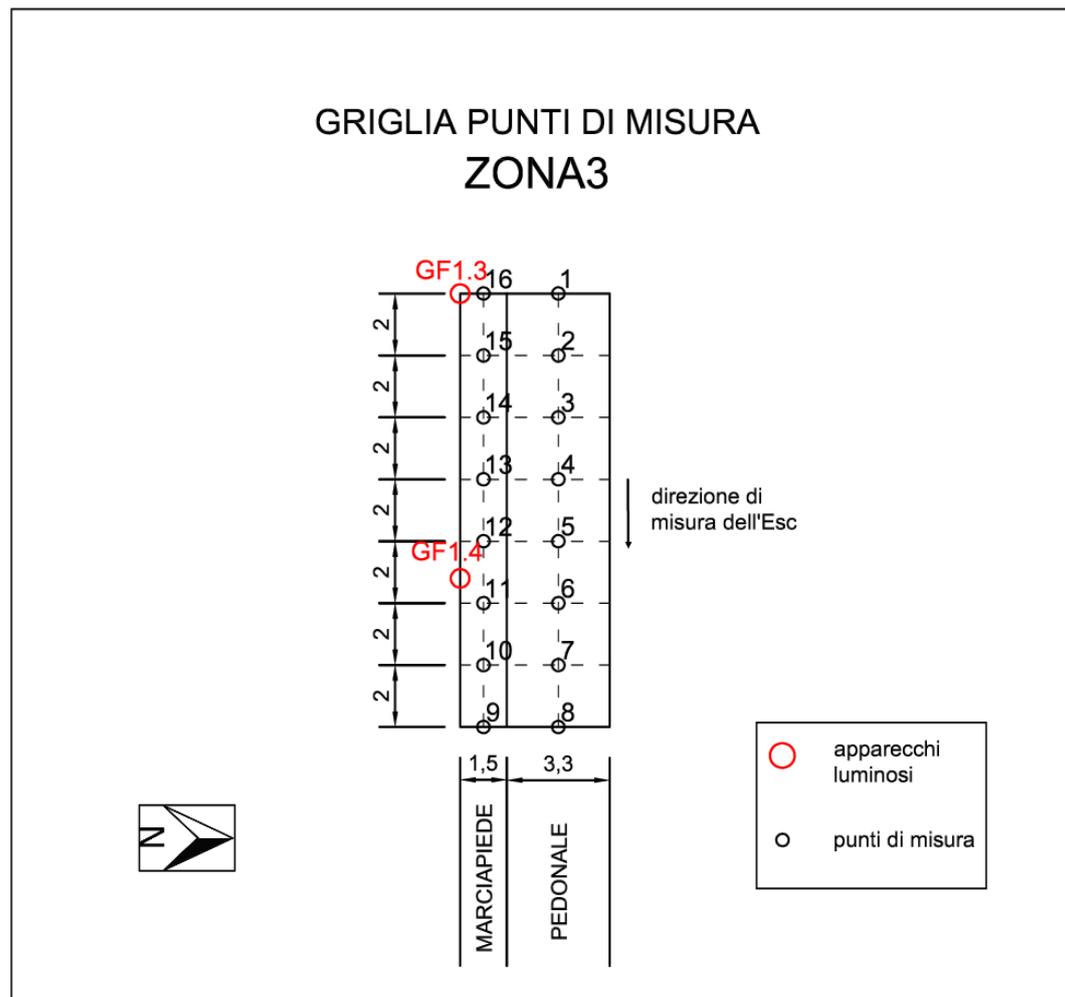
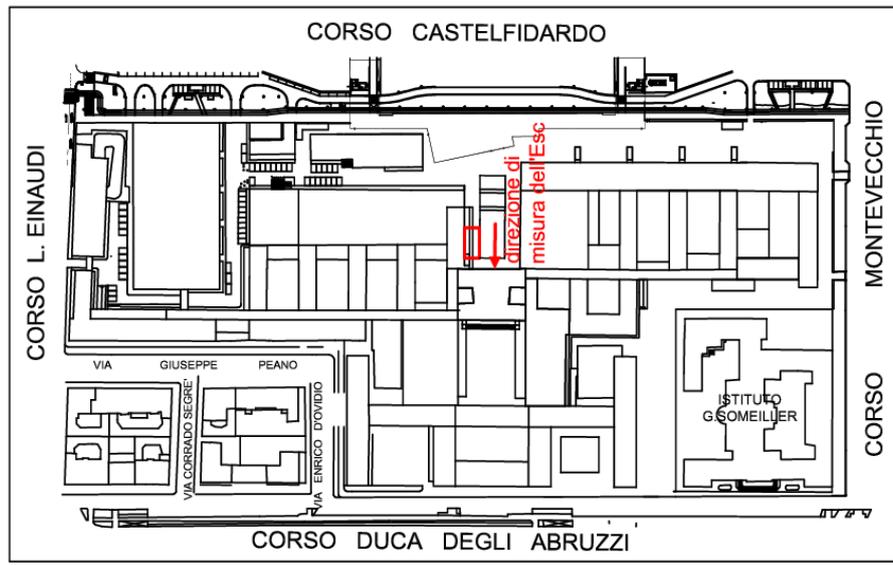


Figura 10-Griglia dei punti di misurazione della Zona 3

Punto	Eh [lx]	Esc [lx]
1	43,3	13,7
2	35,1	12,4
3	36,4	11,1
4	35,3	9,4
5	28,5	8,5
6	28,6	7,8
7	24,5	9,3
8	23,4	11,1
9	33,3	12,4
10	32,5	11,5
11	29,8	11,7
12	23,1	7,6
13	35,9	6,1
14	38,3	5,9
15	41,8	6,7
16	43,4	15,7

**Tabella 25-**Valori dell'Illuminamento orizzontale e semicilindrico nei punti della griglia della Zona 3

	$\bar{E}_m$	$E_{min}$	$E_{max}$	$Esc_{min}$
MARCIAPIEDE	34,8	23,1	43,4	5,92
PEDONALE	31,9	23,4	43,3	7,77

**Tabella 26-** Illuminamento minimo medio mantenuto, minimo ,massimo sul piano orizzontale, e illuminamento semicilindrico minimo

Porte scorrevoli nel Piazzale Galileo Ferraris per l'accesso all'edificio principale

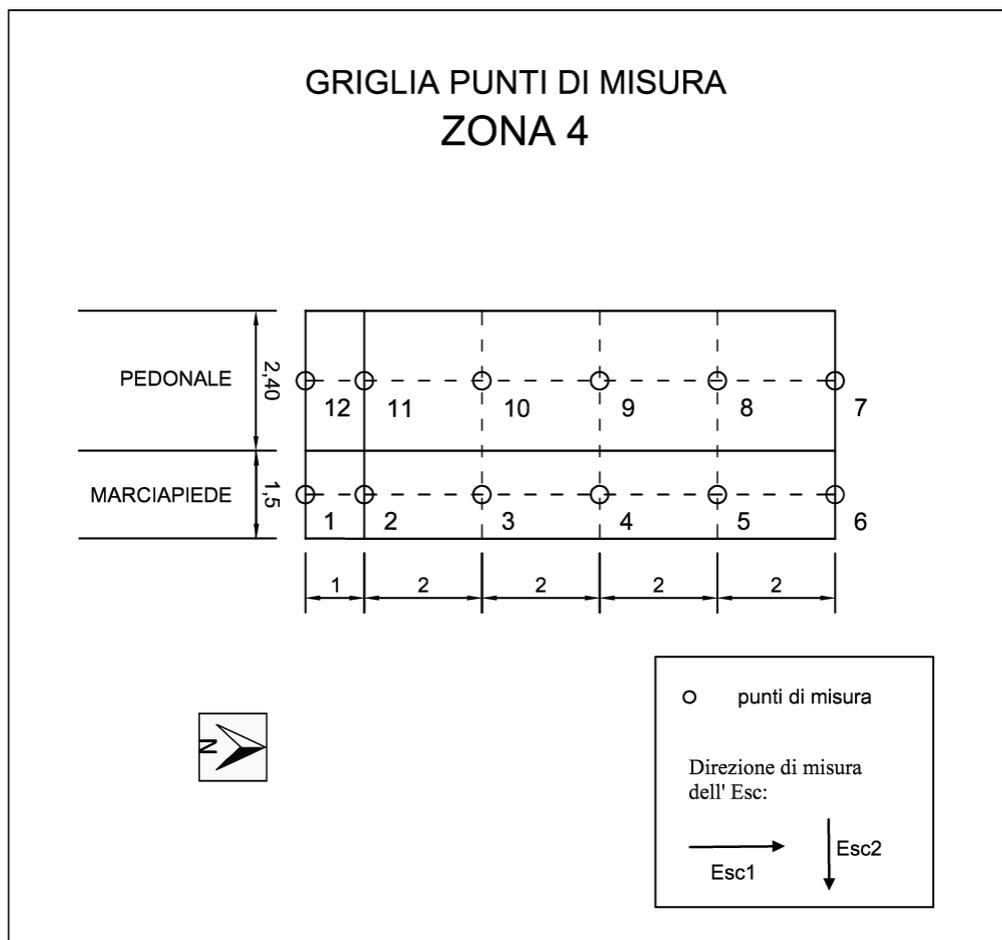
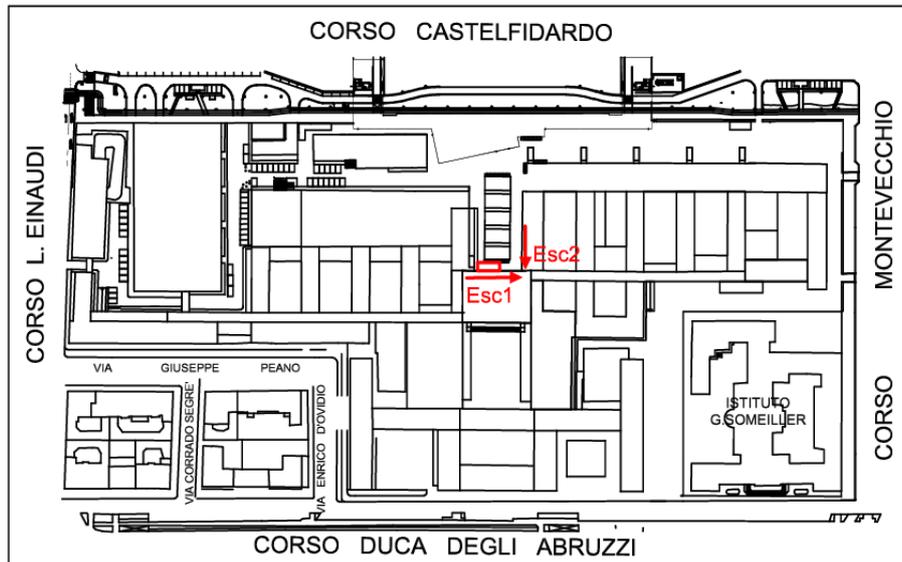


Figura 11-Griglia dei punti di misurazione della Zona 4

In questo particolare caso si è scelto di misurare l'illuminamento semicilindrico in due differenti sensi di marcia poiché l'ingresso con porte scorrevoli posto sul lato inferiore più lungo della griglia di punti di Figura ,rappresenta una zona di collegamento fondamentale tra la sede centrale e il cortile che attraverso la segreteria, porta alla Cittadella Politecnica.

Punto	Eh [lx]	Esc1 [lx]	Esc2 [lx]
1	24,3	13,5	20,2
2	25,5	15,5	17,8
3	24,6	17,9	18,9
4	25,1	19,8	21,5
5	25,7	20,9	20,2
6	26,1	19,4	22,0
7	22,8	22,0	19,8
8	21,3	21,1	20,7
9	22,9	29,0	21,1
10	28,6	20,7	19,1
11	31,3	25,7	16,7
12	19,9	12,2	17,6

**Tabella 27-** Valori dell'Illuminamento orizzontale e semicilindrico nei punti della griglia della  
Zona 4

La Zona 4 si contraddistingue per l'assenza di illuminazione esterna e i valori di illuminamento misurati sono dovuti al contributo proveniente dagli apparecchi della Zona 3,dall'illuminazione interna delle scale che conducono alle "Aule S" e del corridoio dell'edificio oltre le porte scorrevoli.

	$\bar{E}_m$	$E_{min}$	$E_{max}$	Esc1,min	Esc2,min
MARCIAPIEDE	25,2	24,3	26,1	13,5	17,8
PEDONALE	24,5	19,9	31,3	12,2	16,7

**Tabella 28-** Illuminamento minimo medio mantenuto, minimo,massimo sul piano orizzontale,  
e illuminamento semicilindrico minimo

### 3.4 Misure di luminanza e analisi degli ambienti

Al fine di avere un quadro complessivo più dettagliato dello stato di fatto, sono state scattate le foto di luminanza delle zone individuate come più significative. Una prima analisi della percezione della luce nelle varie zone e l'eventuale individuazione di punti di criticità viene quindi effettuata a questo livello.

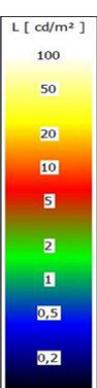
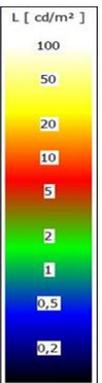
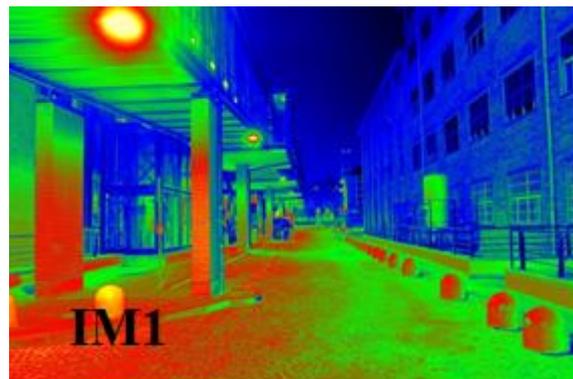
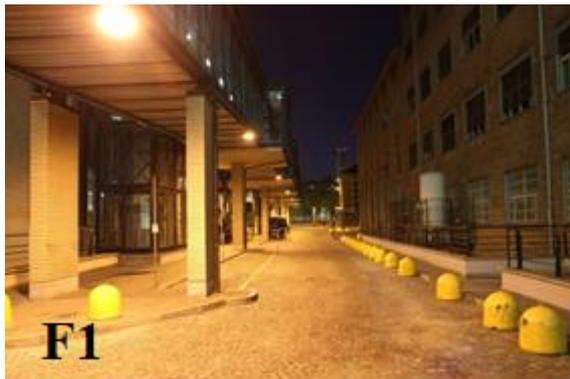
Dalle immagini di luminanza dei due lati del viale Panetti invece si nota come l'illuminazione sia in questa situazione ,più uniforme rispetto agli altri casi. La presenza di corpi illuminanti installati solo sugli edifici più bassi permette il rispetto dei valori di illuminamento e non crea forti zona d'ombra sul piano orizzontale ad eccezione della zona sotto pensilina in cui l'unica illuminazione deriva dagli impianti di illuminazione interna dei corridoi del Politecnico(IM2). Una situazione diversa invece si nota nella percezione delle facciate degli edifici più alti ,non raggiunti in alcun modo dall'illuminazione diretta.

**Foto1,Foto2 e Immagine 1,Immagine 2 di luminanza con relativa scala in colori sfalsati di Viale Panetti,Data 19 Aprile 2018-Ore:21:00-22:00.**



La scelta di dare più importanza alla zona sottostante il portico, dettata dal fatto che questo punto è interessato ad attività di carico e scarico merci, ha creato nel viale Castigliano, una disuniformità generale dell'illuminazione. Il marciapiede e i parcheggi a ridosso della facciata dell'edificio vengono lasciati quasi totalmente in ombra mentre livelli di illuminamento oltre il limite si registrano in corrispondenza degli ingressi nei laboratori rendendo l'illuminazione poco funzionale dal punto di vista della caratterizzazione e percezione degli spazi.

**Foto1, Foto2 e Immagine 1, Immagine 2 di luminanza con relativa scala in colori sfalsati di Viale Castigliano, Data 19 Aprile 2018-Ore:21:00-22:00.**



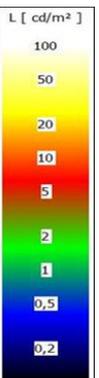
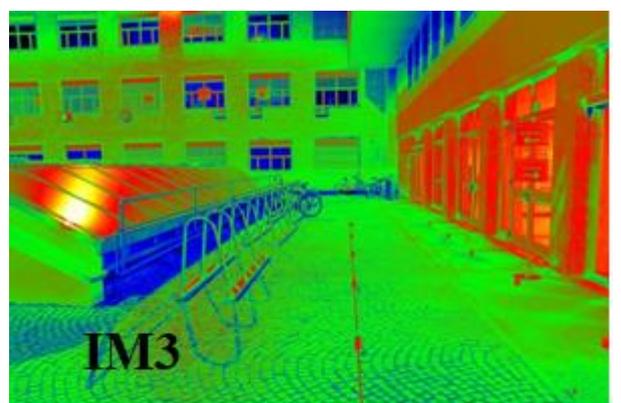
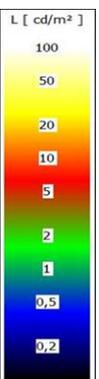
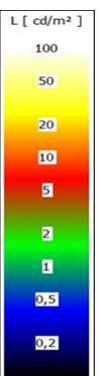
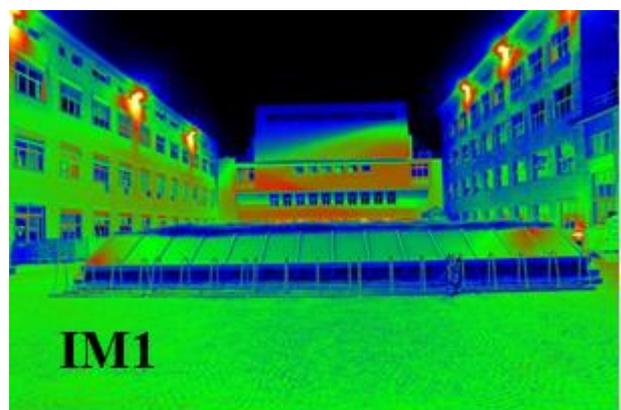
Analizzando le immagini di luminanza del viale Guidi, si nota come la presenza di apparecchi illuminanti su entrambi i lati degli edifici, sfavorisce l'uniformità dell'illuminazione. Si passa da zone fortemente illuminate, a zone più buie, come l'area in cui sono presenti i distributori di bevande e snack, e i gabbiotti con tavolini e panchine(F3), che necessiterebbero invece, di un'illuminazione dedicata. I valori di riferimento per il primo tratto(IM1) si attestano intorno ai  $2 \text{ cd/m}^2$ , per poi passare a valori tra  $5$  e  $10 \text{ cd/m}^2$  nella parte centrale (IM2). Con l'attuale illuminazione, le facciate degli edifici in cui vi è l'apporto luminoso di entrambe le installazioni sono illuminate in modo da evidenziare gli ingressi ai laboratori che essendo luogo di carico e scarico merci, richiedono un illuminamento maggiore rispetto all'intera area. In tal modo però, aree come la struttura di ingresso, tramite scale esterne e ascensori, alle aule di recente costruzione(F3), e l'area parcheggio adiacente all'asilo nido 'Policino'(F1), non risultano illuminate in modo adeguato.

**Foto1,Foto2,Foto3 e Immagine 1,Immagine 2,Immagine3 di luminanza con relativa scala in colori sfalsati di Viale Guidi,Data 19 Aprile 2018-Ore:21:00-22:00.**



Un altro esempio di illuminazione generale, ma poco attenta alla caratterizzazione del luogo e al risparmio energetico, è quella del piazzale Ferraris in cui la facciata dell'edificio di ingresso verso la sede centrale del Politecnico risulta non illuminata uniformemente. Ciò è ben visibile dall'immagine di luminanza (IM1), in cui si nota come la scelta di utilizzare due corpi illuminanti di ugual potenza ma montati a differenti altezze crei in primo luogo un "baffo" di luce sulla facciata dell'edificio centrale ed allo stesso tempo, uno scenario di luce che uniforma questa zona alle altre, invece di sottolinearne l'importanza. Inoltre si ha una percezione degli spazi alterata dal fatto che la facciata dell'edificio più alto del piazzale, risulta più buia rispetto alla facciata dell'edificio di sinistra.

**Foto1,Foto2,Foto3 e Immagine 1,Immagine 2,Immagine3 di luminanza con relativa scala in colori sfalsati di Piazzale Ferraris,Data 19 Aprile 2018-Ore:21:00-22:00.**



### 3.5 Quadro riassuntivo dello stato di fatto e stima dei consumi

Il quadro riassuntivo dei punti luce e degli apparecchi d illuminazione, appare il seguente:

Tipologia Sorgente	N° punti luce	Caratteristiche
SAP da 250 W	58	-Alta efficienza e durata -Colore della luce giallo-arancio -Resa cromatica bassa
SAP da 400 W	9	-Costo contenuto
CFL da 28 W	34	-Bassa efficienza e durata -Colore della luce bianco -Resa cromatica alta -Durata minore rispetto alle SAP -Costo contenuto -Semplicità di installazione

**Tabella 29-** Quadro riassuntivo punti luce dello stato di fatto

Tipologia apparecchi	Caratteristiche
<b>Funzionale</b> 	-Sistema ottico: cut-off e chiusura del vano ottico con vetro piano -Rendimento luminoso: 70% -Manutenzione agevole e adattabilità a vari tipi di utilizzo e sorgenti tradizionali -contenimento del flusso luminoso(Rn:0-0.2%) -IP 65 -Rendimento alimentatori: 87%
<b>Proiettori</b> 	-Sistema ottico: asimmetrico -Rendimento luminoso: 75% - contenimento del flusso luminoso(Rn:3-100%) -IP 66 -IK 08 -Rendimento alimentatori: 87%
<b>Plafoniere</b> 	-Sistema ottico: luce diretta e indiretta -IP65 -IK07

**Tabella 30-**Tipi di apparecchi dello stato di fatto e caratteristiche

Per quanto riguarda i requisiti minimi richiesti dalla normativa UNI EN 13201-2 la situazione per le diverse zone risulta essere come segue:

<b>Zona 1: Viale Panetti</b>					
		<b><math>\bar{E}_{m,min}</math> mantenuto</b>	<b><math>E_{min}</math></b>	<b><math>E_{sc,min}</math></b>	<b><math>U_0</math></b>
<b>Marciapiede 1</b>	Classe illuminotecnica:P2	$\geq 10$	$\geq 2$	$\geq 2$	
	<b>Misurato</b>	<b>33,6</b>	<b>28,9</b>	<b>9,4</b>	
<b>Parcheggio 1</b>	Classe illuminotecnica:P2	$\geq 10$	$\geq 2$	$\geq 2$	
	<b>Misurato</b>	<b>34,5</b>	<b>28,9</b>	<b>14,2</b>	
<b>Veicolare</b>	Classe illuminotecnica:C4	$\geq 10$			$\geq 0,4$
	<b>Misurato</b>	<b>33,9</b>			<b>0,9</b>
<b>Parcheggio 2</b>	Classe illuminotecnica:P2	$\geq 10$	$\geq 2$	$\geq 2$	
	<b>Misurato</b>	<b>36,2</b>	<b>27,8</b>	<b>11,8</b>	
<b>Marciapiede 2</b>	Classe illuminotecnica:P2	$\geq 10$	$\geq 2$	$\geq 2$	
	<b>Misurato</b>	<b>39,3</b>	<b>10,7</b>	<b>8,5</b>	

**Tabella 31-**Risultati delle misurazioni in campo e confronto con i valori della normativa per la Zona 1

<b>Zona 2: Viale Castigliano</b>					
		<b><math>\bar{E}_{m,min}</math> mantenuto</b>	<b><math>E_{min}</math></b>	<b><math>E_{sc,min}</math></b>	<b><math>U_0</math></b>
<b>Marciapiede 1</b>	Classe illuminotecnica:P2	$\geq 10$	$\geq 2$	$\geq 2$	
	<b>Misurato</b>	<b>69,0</b>	<b>33,4</b>	<b>23,7</b>	
<b>Parcheggio</b>	Classe illuminotecnica:P2	$\geq 10$	$\geq 2$	$\geq 2$	
	<b>Misurato</b>	<b>13,4</b>	<b>12,3</b>	<b>7,2</b>	
<b>Veicolare</b>	Classe illuminotecnica:C4	$\geq 10$			$\geq 0,4$
	<b>Misurato</b>	<b>52,6</b>	<b>34,5</b>		<b>0,7</b>
<b>Marciapiede 2</b>	Classe illuminotecnica:P2	$\geq 10$	$\geq 2$	$\geq 2$	
	<b>Misurato</b>	<b>4,6</b>	<b>4,3</b>		

**Tabella 32-**Risultati delle misurazioni in campo e confronto con i valori della normativa per la Zona 2

<b>Zona 3: Piazzale Ferraris</b>				
		<b><math>\bar{E}_{m,min}</math> mantenuto</b>	<b><math>E_{h,min}</math></b>	<b><math>E_{sc,min}</math></b>
<b>Marciapiede</b>	Classe illuminotecnica:P2	$\geq 10$	$\geq 2$	$\geq 2$
	<b>Misurato</b>	<b>34,8</b>	<b>23,1</b>	<b>5,9</b>
<b>Pedonale /Ciclabile</b>	Classe illuminotecnica:P2	$\geq 10$	$\geq 2$	$\geq 2$
	<b>Misurato</b>	<b>31,9</b>	<b>23,4</b>	<b>7,7</b>

**Tabella 33-**Risultati delle misurazioni in campo e confronto con i valori della normativa per la Zona 3

<b>Zona4:Porte scorrevoli nel Piazzale Galileo Ferraris per l'accesso all'edificio principale</b>					
		<b><math>\bar{E}_m, \text{min}</math></b> <b>mantenuto</b>	<b><math>E_h, \text{min}</math></b>	<b><math>E_{sc1}, \text{min}</math></b>	<b><math>E_{sc2}, \text{min}</math></b>
<b>Marciapiede</b>	Classe illuminotecnica:P2	$\geq 10$	$\geq 2$	$\geq 2$	$\geq 2$
	<b>Misurato</b>	<b>25,2</b>	<b>24,3</b>	<b>13,5</b>	<b>17,8</b>
<b>Pedonale /Ciclabile</b>	Classe illuminotecnica:P2	$\geq 10$	$\geq 2$	$\geq 2$	$\geq 2$
	<b>Misurato</b>	<b>24,5</b>	<b>19,9</b>	<b>12,2</b>	<b>16,7</b>

**Tabella 34-**Risultati delle misurazioni in campo e confronto con i valori della normativa per la Zona 4

Nei quadri elettrici di distribuzione risultano installati gli interruttori crepuscolari che in base al livello luminoso rilevato da una sonda all'esterno permettono l'accensione/spengimento degli impianti. Tale soluzione risulta essere la più economica e la più utilizzata ma anche la più soggetta a malfunzionamenti degli impianti a causa della sporcizia che si deposita sulla sonda<sup>7</sup>.

Inoltre non è prevista la regolazione del flusso luminoso per ridurre la potenza elettrica assorbita in base alle diverse fasce orarie di utilizzo delle zone e quindi gli impianti funzionano durante tutte le ore di accensione alla massima potenza.

Le misurazioni della potenza assorbita dagli impianti permettono il calcolo dei consumi effettivi di energia elettrica corrispondenti alla porzione di impianti di illuminazione esterna considerata, includendo già le perdite di linea e dell'impianto. Per le diverse zone si riporta quindi il consumo energetico stimato, considerando le ore di funzionamento annue pari a 4100:

<b>Zona 1: Viale Panetti</b>		
<b>Numero apparecchi</b>	<b>Potenza assorbita [W]</b>	<b>Consumi [MWh/y]</b>
11	2826	11,6

**Tabella 35-** Potenza assorbita e Consumi di energia per la Zona 1

<b>Zona 2: Viale Castigliano</b>		
<b>Numero apparecchi</b>	<b>Potenza assorbita [W]</b>	<b>Consumi [MWh/y]</b>
10	2230	9,1

**Tabella 36-** Potenza assorbita e Consumi di energia per la Zona 2

<b>Zona 3: Viale Guidi</b>		
<b>Numero apparecchi</b>	<b>Potenza assorbita [W]</b>	<b>Consumi [MWh/y]</b>
7	1326	5,4
9	3700	15,2

**Tabella 37-** Potenza assorbita e Consumi di energia per la Zona 3

<sup>7</sup> Illuminazione urbana e scenari di progettazione- Report RdS /2011/195-ENEA

<b>Zona 4: Piazzale Ferraris</b>		
<b>Numero apparecchi</b>	<b>Potenza assorbita [W]</b>	<b>Consumi [MWh/y]</b>
8	2180	8,9

**Tabella 38-** Potenza assorbita e Consumi di energia per la Zona 4

<b>Zona 5: Viale Valluri</b>		
<b>Numero apparecchi</b>	<b>Potenza assorbita [W]</b>	<b>Consumi [MWh/y]</b>
22	5617	23,1
34	900	3,69

**Tabella 39-** Potenza assorbita e Consumi di energia per la Zona 5

Il consumo energetico annuale quindi, per un totale di 101 punti luce considerati, risulta pari a **77 MWh**.

Dalla precedente analisi dello stato di fatto emergono considerazioni e conclusioni di carattere generale che saranno poi oggetto di analisi più approfondite per definire il quadro delle esigenze e le scelte progettuali:

-Non risulta installata nessuna tecnologia che permette la riduzione del flusso luminoso dopo l'orario di chiusura dei cancelli di accesso alle aree: gli impianti restano accesi a piena potenza durante tutte le ore notturne;

-La maggior parte delle sorgenti luminose sono del tipo vapori di sodio alta pressione caratterizzate da un'alta vita media ed efficienza, spesso però vanificata sovradimensionando le potenze;

-Gli apparecchi illuminanti non sono adatti all'installazione di nuove tecnologie nell'ipotesi di un retrofitting con i LED. Inoltre le plafoniere presenti nel corridoio esterno del Viale Valluri hanno come sorgenti le fluorescenti compatte, ormai sconsigliate per l'illuminazione esterna a meno che non accoppiate a sensori di movimento;

-In alcune zone, sono state utilizzate sorgenti luminose di uguale potenza, installate su edifici di altezza diversa ottenendo così un'illuminazione non uniforme;

-Dalle misure degli illuminamenti sul campo si rilevano illuminamenti sia sul piano orizzontali che illuminamenti semicilindrici ben oltre i limiti imposti dalle normative di riferimento;

Questo scenario si presta ad interventi che vertono a risolvere le criticità rilevate e allo stesso tempo conseguire un risparmio energetico rilevante.

### **3.6 Il quadro delle esigenze**

Da i rilievi fotografici effettuati durante le ore diurne e notturne e dalle misurazioni di illuminamento, luminanza e potenza totale assorbita dagli impianti è stato possibile ricostruire e analizzare lo stato attuale dell'illuminazione delle zone indicate. In particolare, i rilievi diurni sono stati necessari per individuare i tipi di apparecchi utilizzati per l'illuminazione e per caratterizzare gli ambienti e gli elementi stradali che costituiscono le aree, necessari per lo step di costruzione delle griglie per l'illuminamento misurato in campo.

Inoltre grazie alla definizione degli spazi è stato possibile individuare la tipologia stradale utile per la conseguente classificazione illuminotecnica. Il piazzale G.Ferraris risulta il punto centrale dell'area oggetto di intervento intorno al quale si estendono i viali Guidi e Valluri. Queste aree si caratterizzano per essere importante luogo di passaggio ed incontro rispetto ai viali Castigliano e Panetti interessati anche da traffico veicolare per la presenza dei parcheggi e dei punti di carico/scarico dei laboratori. I rilievi notturni invece, hanno permesso di individuare le tipologie di sorgenti utilizzate nei vari luoghi e la quantità di luce che si percepisce in modo oggettivo e soggettivo. Si è visto come i livelli di illuminamento risultino eccedere di molti lux il livello indicato dalla normativa, recando in generale, una percezione di ambienti sovrailluminati.

Partendo dalle precedenti considerazioni e al fine di costruire un quadro di esigenze e requisiti sono state identificate le componenti caratteristiche delle aree analizzate:

- A1.** Area a traffico ciclo-pedonale: viale Valluri, parte di viale Guidi e piazzale Ferraris
- A2.** Zone destinate ai parcheggi e in cui sono presenti punti di carico/scarico merci caratterizzate sia traffico veicolare che ciclo-pedonale: viale Panetti, Castigliano e parte di viale Guidi
- A3.** Punto in cui è situato l'asilo nido "Policino" e l'ingresso da corso Castel Fidardo

<b>Componenti</b>	<b>Utenza</b>	<b>Attività</b>	<b>Esigenze</b>	<b>Requisiti illuminotecnici secondo UNI EN 13201-2:2016</b>	
<b>A1.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Studenti e professori</li> <li>• Visitatori</li> <li>• Tecnici manutenzione</li> <li>• Ciclisti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incontro tra utenti</li> <li>• Connessione tra le varie zone</li> <li>• Parcheggio biciclette</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicurezza degli utenti</li> <li>• Riconoscimento delle persone e dei percorsi</li> <li>• Limitazione dell'abbagliamento</li> <li>• Caratterizzazione e valorizzazione dei luoghi</li> </ul>	<b>Per tratti pedonali la categoria di progetto individuata è la P3:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>E_m \geq 7,5</math></li> <li>• <math>E_{min} \geq 1,5</math> lx</li> <li>• <math>E_{sc} \geq 1,5</math> lx</li> <li>• <math>TTC \geq 3000K</math></li> <li>• <math>R_a \geq 60</math></li> </ul>	
<b>A2.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automobilisti</li> <li>• Pedoni</li> <li>• Personale Laboratori</li> <li>• Furgoni trasporto merci</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aree di parcheggio</li> <li>• Passaggio veicoli, ciclisti, pedoni</li> <li>• Accessi ai cortili dagli appositi ingressi segnalati</li> <li>• Accessi ai laboratori</li> <li>• Carico/scarico merci</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicurezza degli utenti</li> <li>• Percezione degli ostacoli e dei pedoni</li> <li>• Riconoscimento delle persone e dei percorsi</li> <li>• Limitazione dell'abbagliamento</li> </ul>	<b>Tratto veicolare secondo la C5</b> $E_m \geq 7,5$ lx $U_0 \geq 0,40$ $TTC \geq 3000K$ $R_a \geq 60$	<b>Tratto pedonale secondo la P3</b> $E_m \geq 7,5$ lx $E_{min} \geq 1,5$ lx $E_{sc} \geq 1,5$ lx $TTC \geq 3000K$ $R_a \geq 60$
<b>A3.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automobilisti</li> <li>• Pedoni: in particolare bambini con i genitori</li> <li>• Personale Laboratori</li> <li>• Furgoni trasporto merci</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accesso delle vetture, alla zona del Politecnico tramite sbarra automatica</li> <li>• Accesso dei pedoni</li> <li>• Genitori con i figli che si recano presso l'asilo nido presente nell'area considerata</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prestare maggiore attenzione ai pedoni, poiché vi è la presenza di bambini</li> <li>• Segnalare correttamente l'accesso al cortile e alla struttura dell'asilo nido</li> <li>• Percezione degli ostacoli e dei pedoni</li> <li>• Riconoscimento delle persone e dei percorsi</li> <li>• Limitazione dell'abbagliamento</li> </ul>	<b>Tratto veicolare secondo la C4</b> $E_m \geq 10$ lx $U_0 \geq 0,40$ $TTC \geq 3000K$ $R_a \geq 60$	<b>Tratto pedonale secondo la P2</b> $E_m \geq 10$ lx $E_{min} \geq 2$ lx $E_{sc} \geq 2$ lx $TTC \geq 3000K$ $R_a \geq 60$

**Tabella 40-**Tabella riassuntiva del quadro delle esigenze

Nelle immagini che seguono si è voluto mettere in evidenza le esigenze delle diverse zone come già indicato in tabella n. ed inoltre è stato indicato il tipo di illuminazione che si prevede installare distinguendo tra:

1. **GENERALE:** utilizzata per la definizione degli ambienti e degli spazi nell'illuminazione di parcheggi, vie e strade. La luce risulta uniforme, non si creano contrasti netti e zone d'ombra.
2. **FUNZIONALE:** per illuminare specifiche superfici che richiedono l'attenzione degli utenti come ad esempio ingressi in determinate zone, attraversamenti pedonali, punti in cui vi è la necessità di maggiore sicurezza e accortezza;

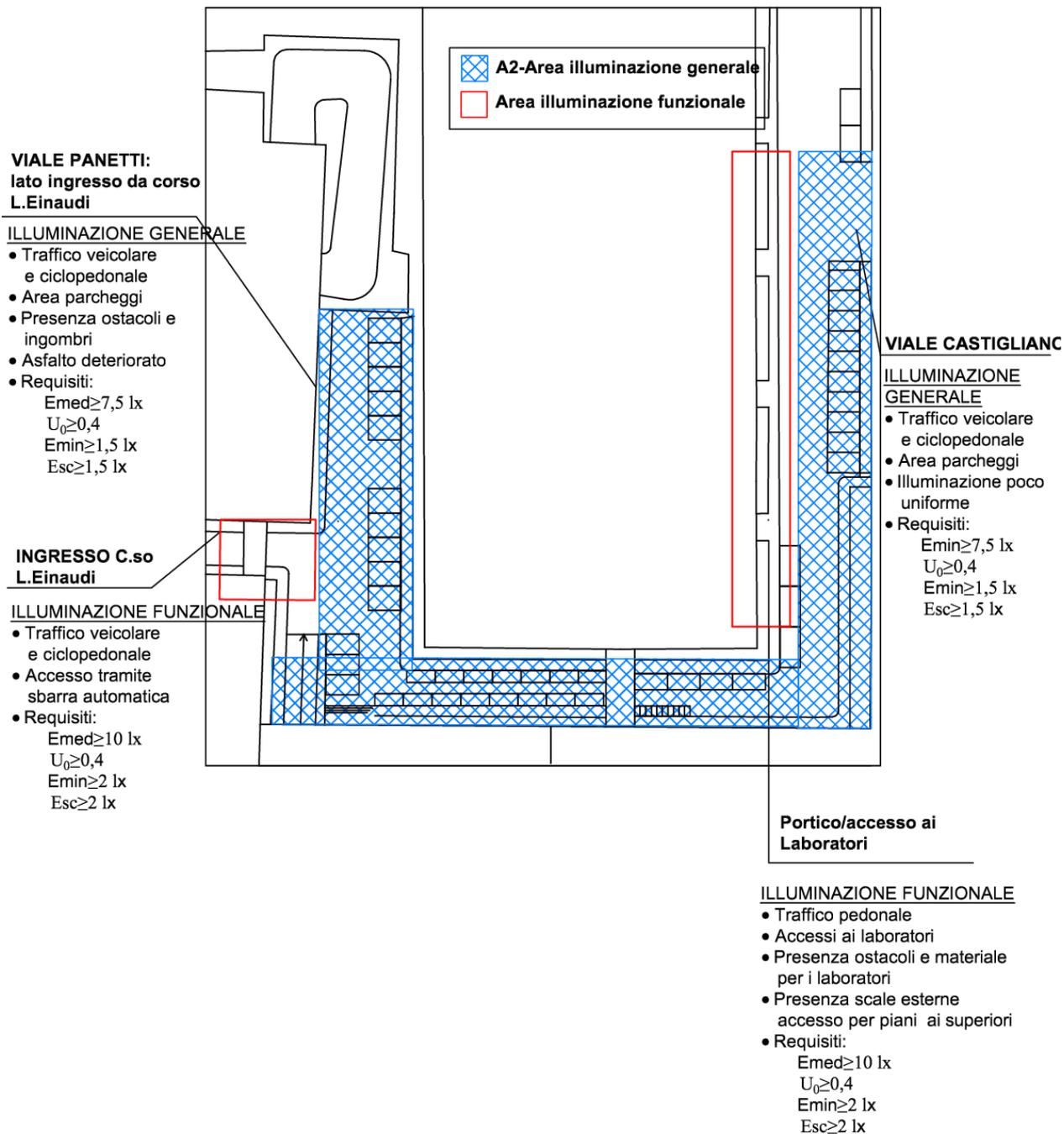
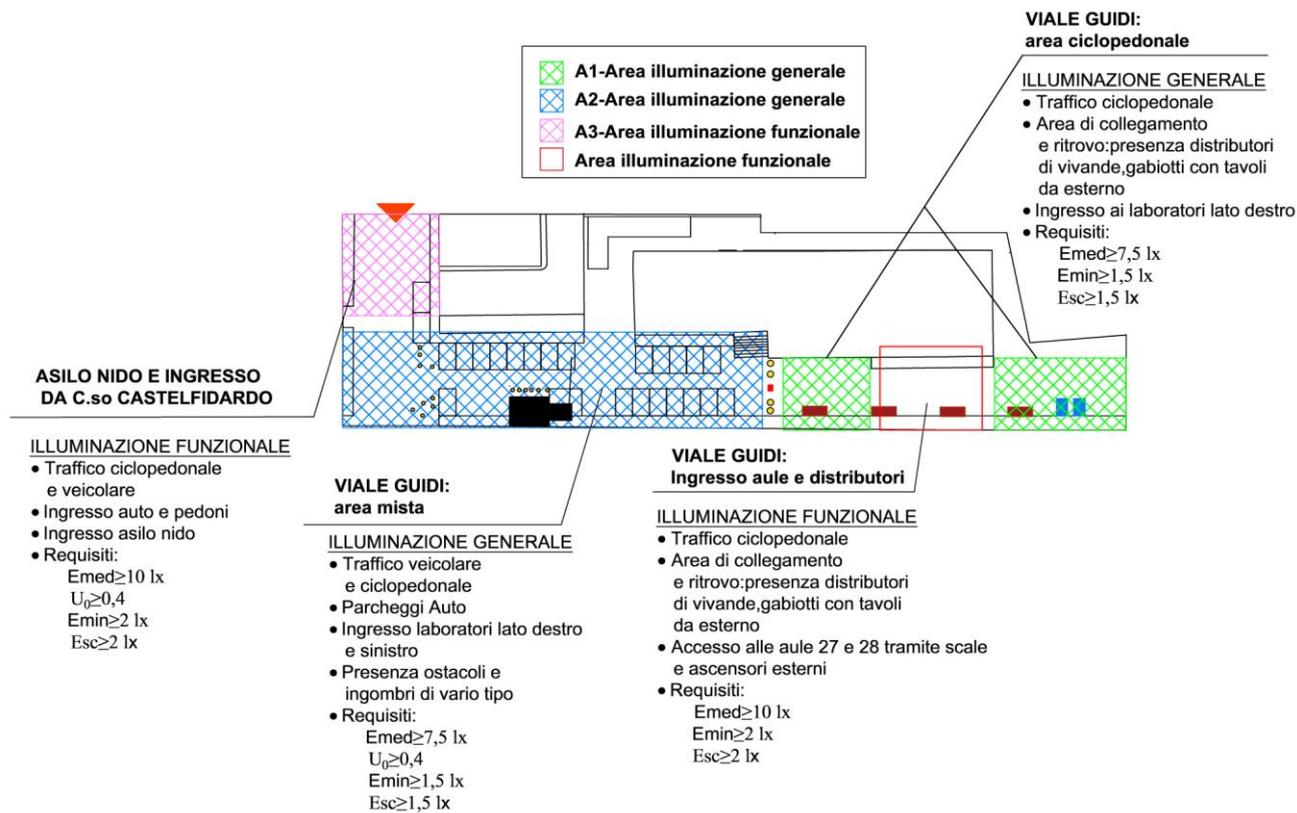


Figura 12-Requisiti della Zona 1 e della Zona 2



**Figura 13-Requisiti della Zona 3**

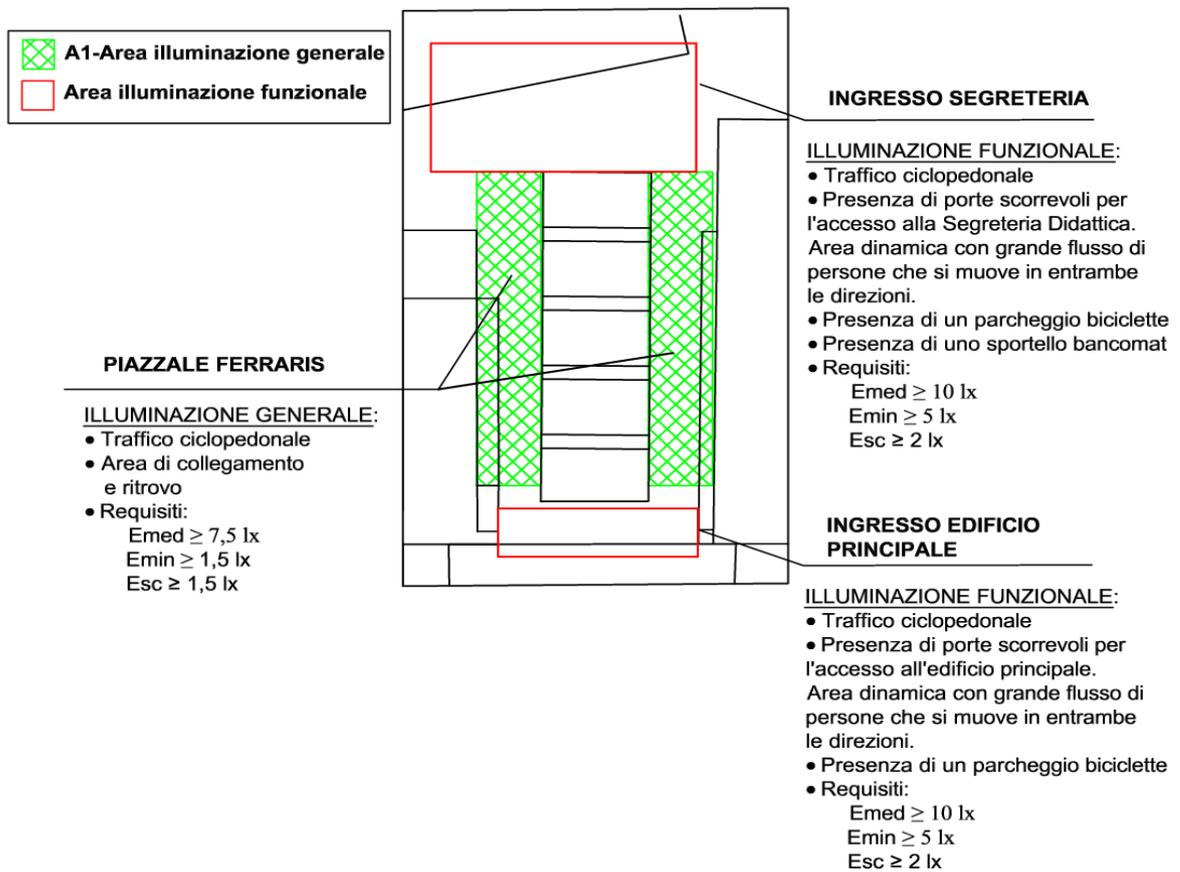
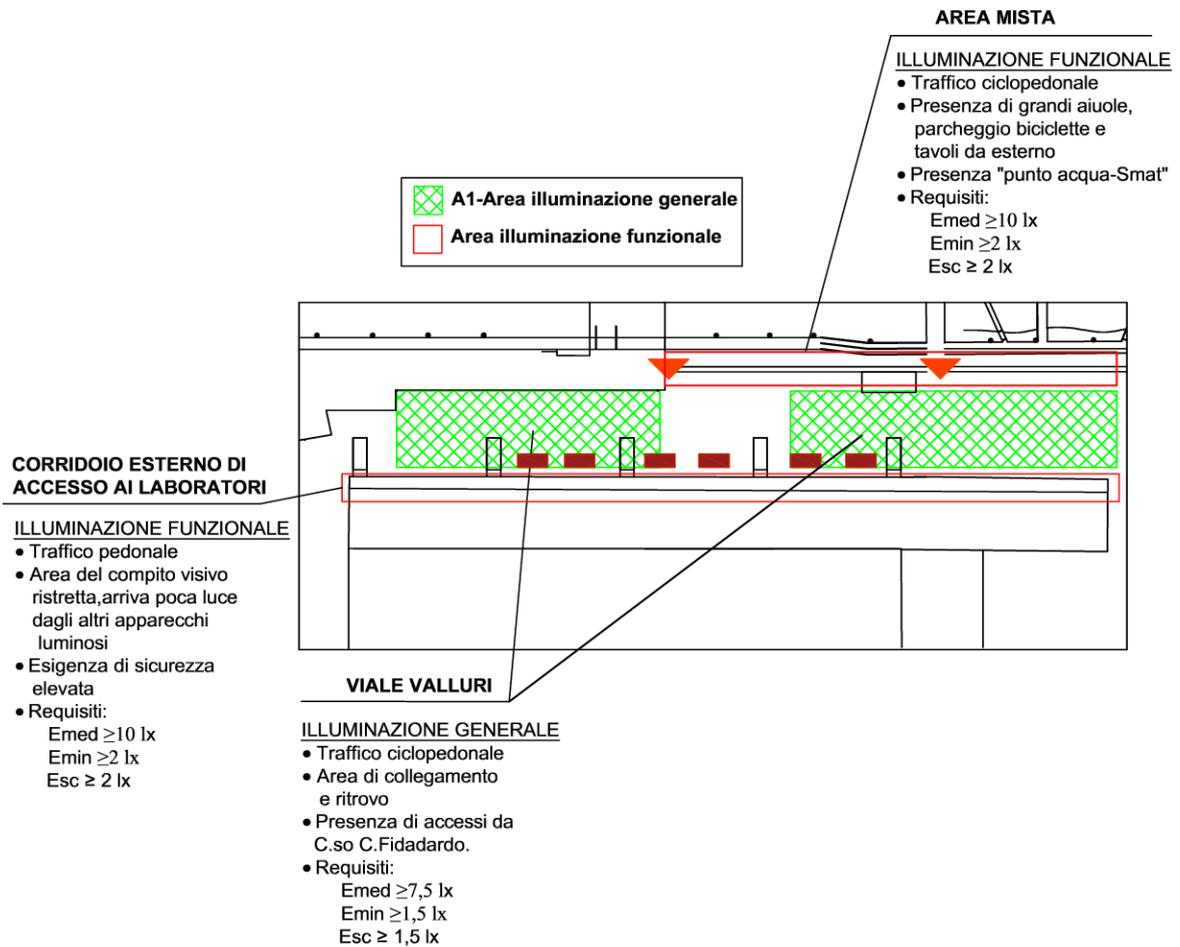


Figura 14-Requisiti della Zona 4



**Figura 15-Requisiti della Zona 5**

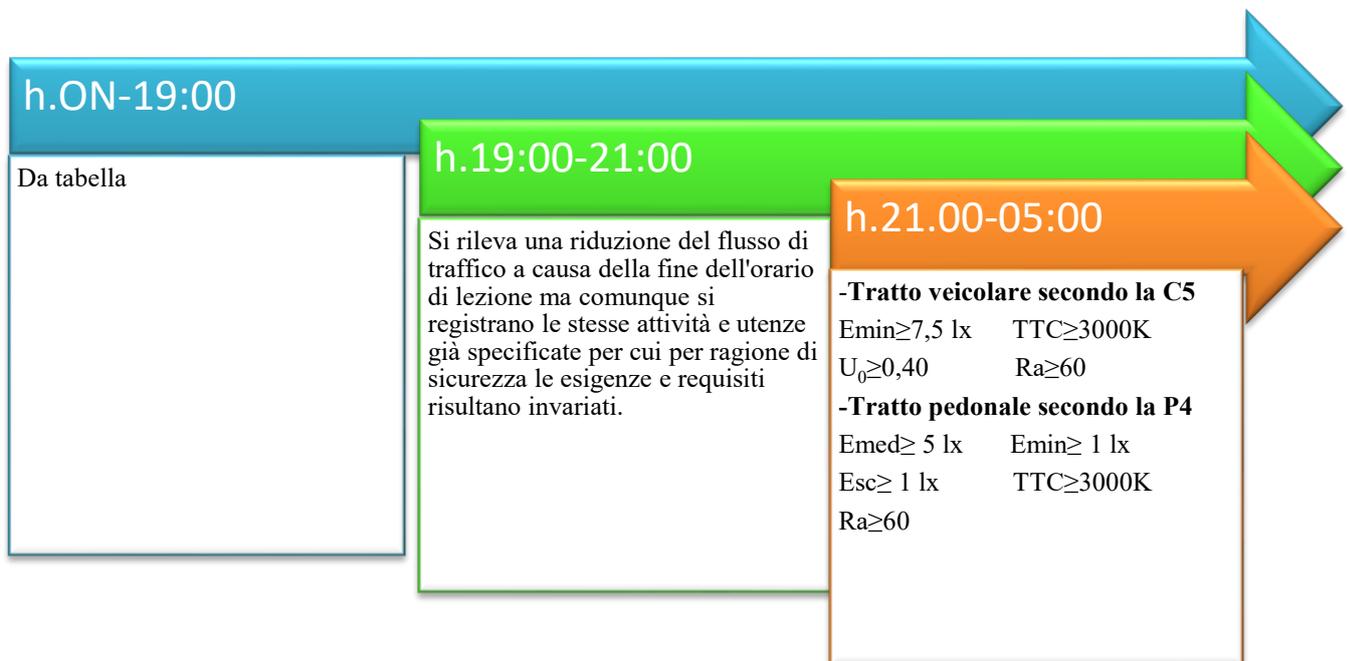
Di fondamentale importanza risulta capire come il quadro delle esigenze precedentemente analizzato cambi se si tiene conto delle fasce orarie in cui gli ambienti vengono utilizzati. Infatti come specificato più volte, la zona in considerazione corrisponde a viali e cortili esterni del Politecnico e quindi gli utenti, le attività svolte e le esigenze cambiano e si uniformano, specialmente dall'orario di chiusura dei cancelli in poi.

Dall'orario di accensione degli impianti fino alle h 19:00 (orario fine lezioni) il quadro delle esigenze è conforme a quello indicato in tabella. Dalle h 19:00 alle h 21:00 si assiste a una progressiva diminuzione del flusso di traffico e si registra la presenza di studenti che utilizzano i cortili solo come connessione per raggiungere la mensa Edisu e dell'impresa di pulizia che tramite percorsi predefiniti si sposta da un edificio interno all'altro e che ha il deposito merci proprio nel sottoscala del Piazzale Ferraris.

Inoltre si nota che, durante tutte le ore notturne di accensione dell'illuminazione esterna :

- non vi sono utenti che fruiscono nelle zone considerate se non i vigilanti notturni;
- non vi sono veicoli parcheggiati negli stalli di sosta;
- le attività svolte sono pressoché inesistenti a parte quella di sorveglianza dei vigilanti.

In base a queste considerazioni le funzioni degli impianti di illuminazione possono essere considerate uguali per tutte le aree fino ad ora considerate, tenendo conto solo del fatto che in base agli orari di utilizzo si deve garantire un certo valore di illuminamento che varia se ci si riferisce alle categorie illuminotecniche di progetto o di esercizio individuate nel paragrafo 3.1.2.



**Grafico 1**-Profilo orario di utilizzo degli ambienti esterni in esame

Le esigenze primarie, come quelle di garantire la visibilità nelle ore buie, assicurare i livelli di illuminamento minimi di sicurezza, riconoscere viandanti ed oggetti e percepire lo spazio e valorizzarlo, sono affiancate da esigenze secondarie, ma di fondamentale importanza per lo scopo di questa tesi.

Infatti gli obiettivi primari devono essere ottenuti cercando di:

- minimizzare i consumi energetici grazie alla parzializzazione degli impianti
- contenere il più possibile il flusso disperso concausa dell'inquinamento luminoso, dell'invasività della luce e dell'impianto sull'ambiente dell'intervento
- ottimizzare costi di esercizio e di manutenzione.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> Grattieri, Menga-Linee Guida Operative per la realizzazione di impianti di Pubblica illuminazione, 2012

### 3.7 Concept progettuale e ipotesi di progetto

Dopo aver analizzato lo stato di fatto e aver individuato le esigenze e i requisiti del progetto sono state definite le scelte progettuali puntando sul mantenimento della tipologia di illuminazione esistente in alcune zone. In tal senso non si è voluto stravolgere la percezione attuale degli ambienti, ma bensì ci si è mossi nella direzione dell'aggiornamento funzionale ed energetico sia degli apparecchi che delle fonti. Si discostano dalle precedenti scelte progettuali invece il piazzale Ferraris e il Viale Guidi per i quali si è ritenuto opportuno avanzare ipotesi di progetto che sostituissero in parte l'illuminazione esistente e che sono state spiegate successivamente nel dettaglio. Nell'ottica di una riduzione dei consumi durante le ore notturne si prevede l'installazione di apparecchi di nuova generazione e la sostituzione delle sorgenti luminose con i moduli led, nonché la regolazione del flusso luminoso secondo i differenti profili di utilizzo. Nonostante questo aspetto fondamentale per l'obiettivo della tesi, si è voluto anche porre attenzione alla caratterizzazione dei luoghi, cercando di ricreare ambienti illuminati uniformemente ed escludendo la presenza di zone fortemente in ombra o al contrario eccessivamente illuminate. A tal proposito si sono scelti valori cromatici adeguati alla situazione, utilizzando sorgenti nel range tra i 3000 K e 4000 K e con intensità luminose mai sovrabbondanti. Ciò per ottenere valori medi di illuminamento al suolo non superiori ai 15-20 lux e per assicurare il non abbagliamento grazie al corretto orientamento degli apparecchi.

Da quanto emerso dagli studi preliminari, sono stati presi in considerazione:

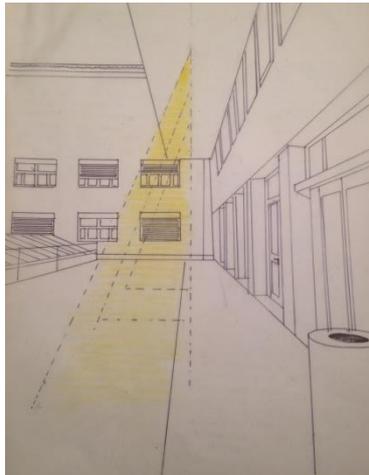
- Piazzale Ferraris: si è pensato di eliminare l'installazione a parete dei proiettori presenti e favorire un'illuminazione generale dei due corridoi laterali, utilizzando lampioni da arredo urbano con ottica simmetrica. Inoltre si intende enfatizzare l'ingresso lato segreteria installando oltre ai già presenti faretti sotto portico quattro lampioni con curva fotometrica asimmetrica particolarmente indicati per le zone ciclopedonali. Un ultimo intervento si ritiene necessario per sottolineare il punto d'ingresso tramite porte scorrevoli nell'edificio della sede centrale, non dotato di alcuna illuminazione, installando proiettori a fascio largo.



**Immagine 1**-spunti progettuali per l'illuminazione dei corridoi laterali di Piazzale Ferraris

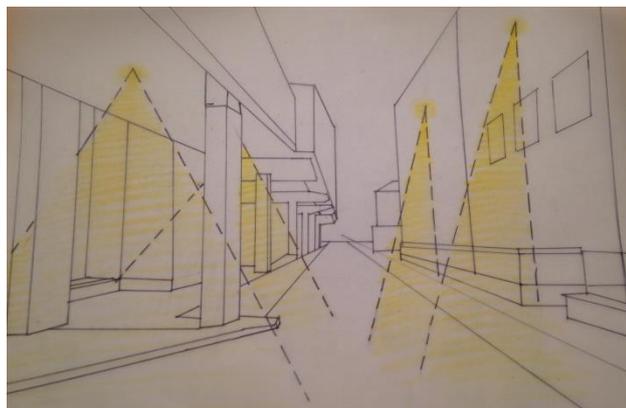


**Immagine 2**-spunti progettuali per l'illuminazione dell'ingresso lato segreteria di Piazzale Ferraris



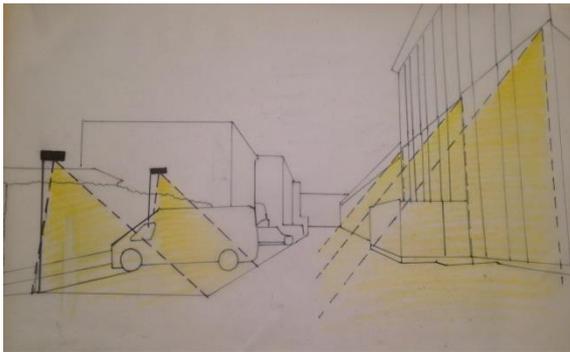
**Immagine 3**-spunti progettuali per l'illuminazione dell'ingresso alla Sede Centrale di Piazzale Ferraris

- Viale Castigliano: per limitare la scarsa uniformità dell'illuminazione di questa zona, data dalla presenza di due file di sorgenti luminose sotto portico che lo rende maggiormente illuminato rispetto alle aree circostanti, si prevede l'installazione di una sola fila centrale di proiettori in modo da illuminare gli ingressi ai laboratori e segnalare la presenza in questo punto, delle scale e ascensori esterni. Un'illuminazione di tipo generale invece si ritiene opportuna per illuminare la zona dei parcheggi posizionando proiettori ad un'altezza di 8 metri sulla facciata dell'edificio frontale.



**Immagine 4**-spunti progettuali per l'illuminazione di Viale Castigliano

- Viale Panetti-lato ingresso laboratori: La criticità di questa zona si riscontra nel punto sotto la pensilina di collegamento tra l'edificio centrale e i laboratori. Qui a causa dei proiettori presenti sotto gronda lato laboratori, arriva poca luce ma se si considera l'apporto dell'illuminazione interna anche questo passaggio risulta illuminato adeguatamente. Due fari proiettori sono stati installati sull'edificio più alto per illuminare l'ingresso da Corso Einaudi. Si rende noto che in tutto il viale Panetti si è scelto di non intervenire sul riposizionamento delle sorgenti già esistenti, cercando di illuminare anche le facciate verticali degli edifici ,poiché rispetto alle altre zone risulta avere una funzione di tipo logistico con più importanza sui piani orizzontali per la presenza di un numero influente di parcheggi.
- Viale Guidi: L'illuminazione della zona risulta fortemente disuniforme perciò si è scelto di intervenire per equiparare i livelli di illuminamento e quindi di luminanza. I proiettori presenti lato laboratori già installati rimangono nella medesima posizione poiché sottolineano in modo corretto gli ingressi e quindi eventuali ostacoli posti nella zona adiacente. Sul marciapiede del lato opposto invece si prevede l'installazione di tre apparecchi testa palo a distanze variabili per garantire un'illuminazione di tipo uniforme nei parcheggi e lungo la zona di transito. Sugli edifici fronte laboratori invece sono stati posizionati fari proiettori sia sul lato anteriore che su quello posteriore.



**Immagine 5**-spunti progettuali per l'illuminazione di Viale Guidi area parcheggi



**Immagine 6**-spunti progettuali per l'illuminazione dell'area ciclopedonale del Viale Guidi

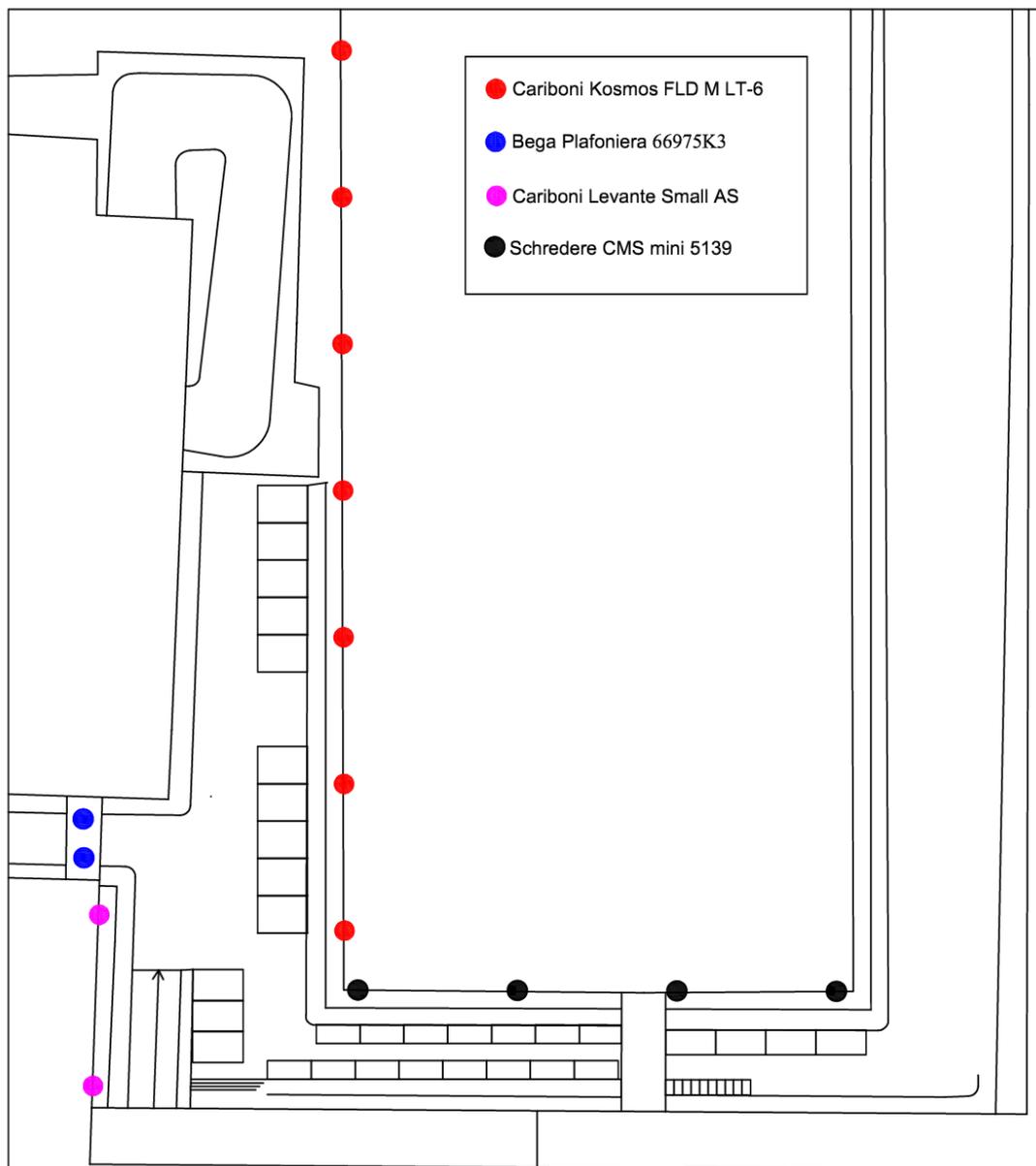
- Viale Valluri: l'impianto esistente prevede l'utilizzo di una doppia illuminazione a differenti altezze: una di carattere generale che illumini dall'alto tutto l'ambiente e l'altra di tipo funzionale che interessa punti specifici. Si è scelto di mantenere tale schema ma facendo attenzione ad utilizzare sorgenti a potenza più alta per corpi illuminanti posti più in alto. Sono stati aggiunti quattro apparecchi installati su palo per illuminare la parte finale di questa zona. Inoltre si prevede l'utilizzo di sensori di movimento nel corridoio d'accesso ai laboratori dopo l'orario di chiusura dei cancelli per permettere l'accensione degli apparecchi in questo punto solo al passaggio degli utenti.

## CAPITOLO 4. Il Progetto

### 4.1 Apparecchi utilizzati

Di seguito vengono riportati i nuovi apparecchi utilizzati per l'illuminazione delle aree oggetto di studio di questa tesi e precedentemente individuate in Figura 1.

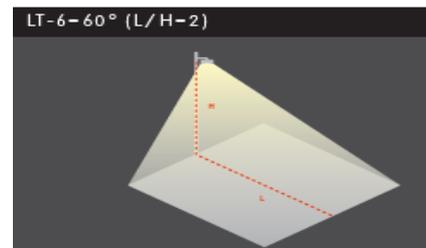
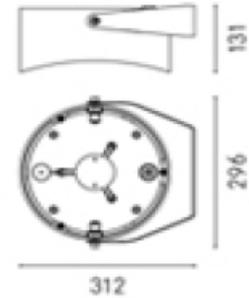
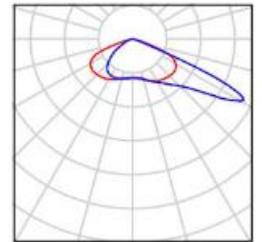
#### ZONA 1: Viale Panetti



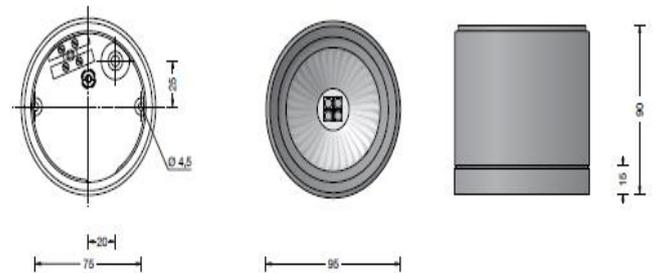
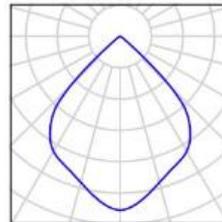
**Figura 16-**Disposizione nuovi punti luce nella Zona 1

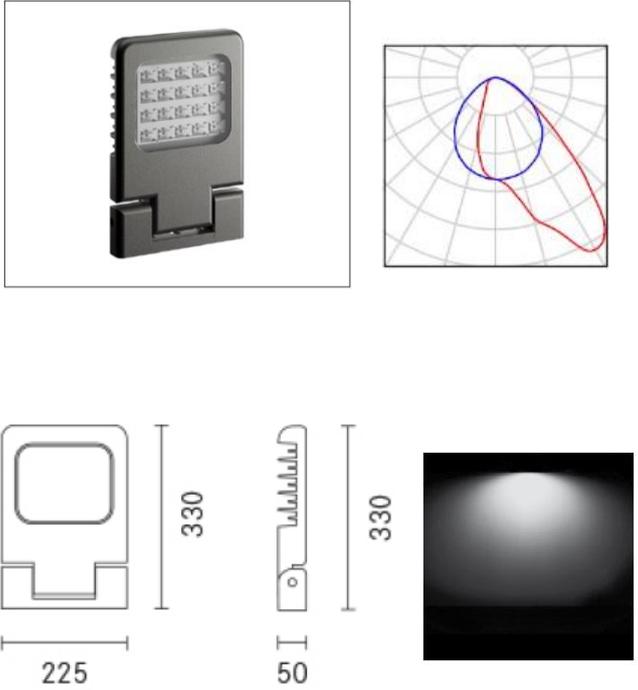
Le principali informazioni dei vari apparecchi utilizzati vengono elencati nelle tabelle che seguono:

● 7 x CARIBONI Kosmos FLD M LT-6 535 mA
Codice: 06KS6B25037
Flusso luminoso(sistema): 2715 [lx]
Tipologia sorgente: LED
Flusso luminoso (sorgente):3155 [lx]
Potenza(sistema): 20,5 [W]
Efficienza Luminosa: 132 [lm/W]
Temperatura di colore: 4000 [K]
CRI $\geq$ 90
IP: 66
IK:09
Peso:4,2 [kg]
Tipologia di installazione: a parete
Altezza di installazione: 8 m

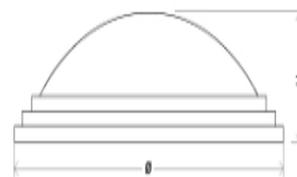


● 2 x BEGA Plafoniera
Codice: 66975K3
Flusso luminoso(sistema): 324 [lx]
Tipologia sorgente: LED
Flusso luminoso (sorgente): 460 [lx]
Potenza(sistema): 5 [W]
Efficienza Luminosa: 64,8 [lm/W]
Temperatura di colore: 3000 [K]
CRI $\geq$ 90
IP: 65
IK:08
Peso:0,55 [kg]
Tipologia di installazione: a soffitto
h installazione: 5 m



● 2 x CARIBONI Levante Small AS 700 mA	
Codice: 06LV3B0007	
Flusso luminoso(sistema): 2646 [lx]	
Tipologia sorgente: LED	
Flusso luminoso (sorgente): 3270 [lx]	
Potenza(sistema): 24,5 [W]	
Efficienza Luminosa: 108 [lm/W]	
Temperatura di colore: 4000 [K]	
CRI $\geq 70$	
IP: 66	
IK:07	
Peso:3 [kg]	
Tipologia di installazione: a parete	
h installazione: 16 m	

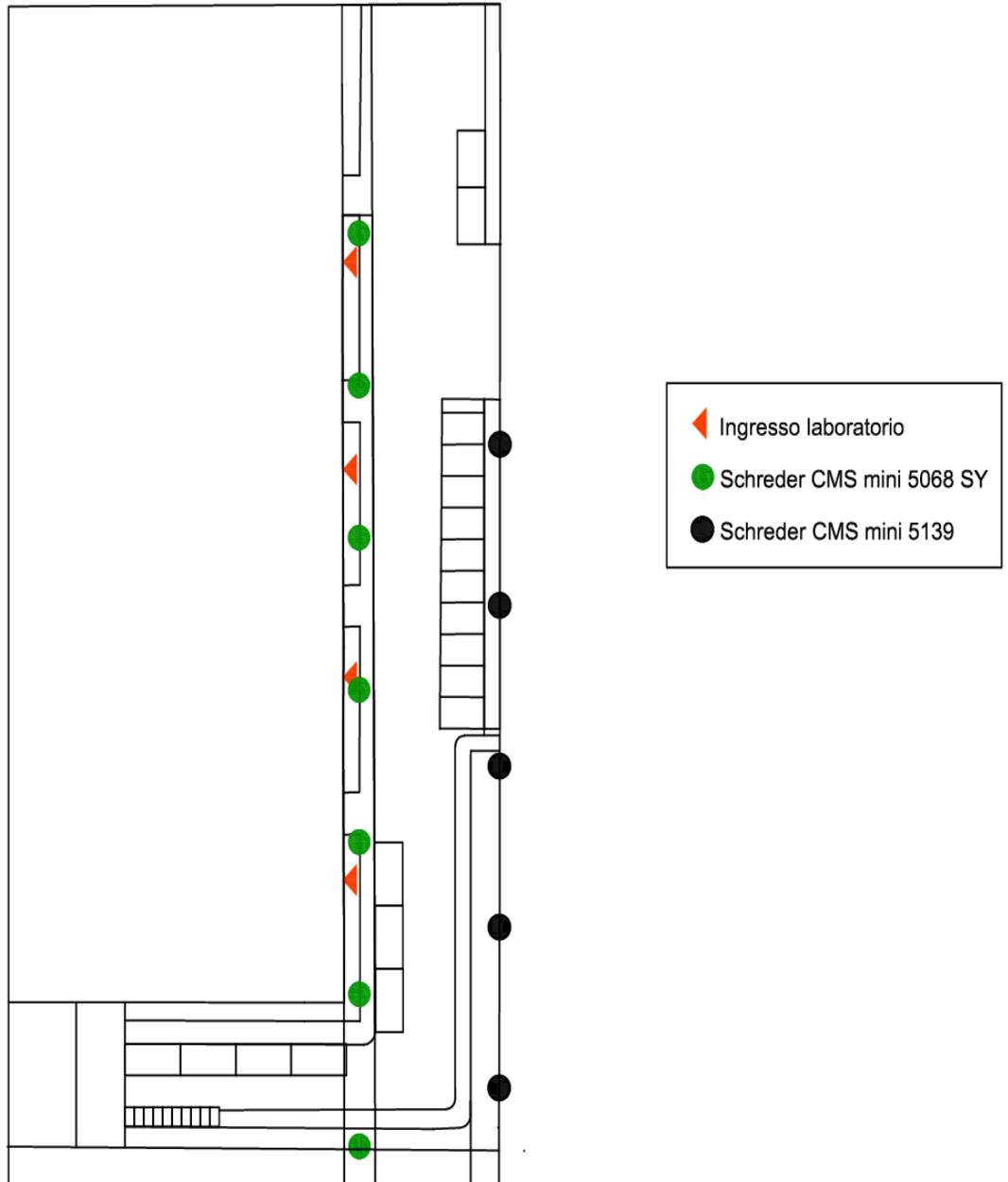
● 4 x SCHREDER CMS(mini) 5139 500 mA
Codice: 343262
Flusso luminoso(sistema): 2373 [lx]
Tipologia sorgente: LED
Flusso luminoso (sorgente):3200 [lx]
Potenza(sistema): 26 [W]
Efficienza Luminosa: 123 [lm/W]
Temperatura di colore: 4000 [K]
CRI $\geq 70$
IP: 65
IK:08
Peso:10 [kg]
Tipologia di installazione: a parete
h installazione: 8 m



Citea/Maya/Scala LED

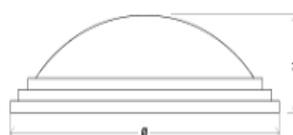
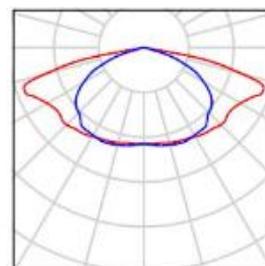
	Mini	Midi	Maxi
Ø	490mm	590mm	675mm
H	167mm	190mm	230mm

ZONA 2: Viale Castigliano



**Figura 17-**Disposizione nuovi punti luce nella Zona 2

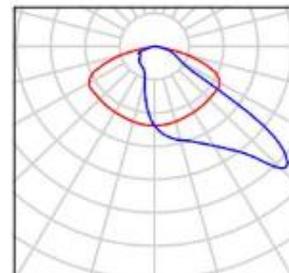
● 7 x SCHREDER CMS(mini) 5068 SY 350 mA
Codice: 34390S
Flusso luminoso(sistema): 2001 [lx]
Tipologia sorgente: LED
Flusso luminoso (sorgente):2400 [lx]
Potenza(sistema): 19 [W] Fattore di correzione=0,8
Efficienza Luminosa: 105 [lm/W]
Temperatura di colore: 4000 [K]
CRI $\geq 70$
IP: 65
IK:08
Peso:10 [kg]
Tipologia di installazione: sotto portico
h installazione: 4 m



Citea/Maya/Scala LED

	Mini	Midi	Maxi
Ø	490mm	590mm	675mm
H	167mm	190mm	230mm

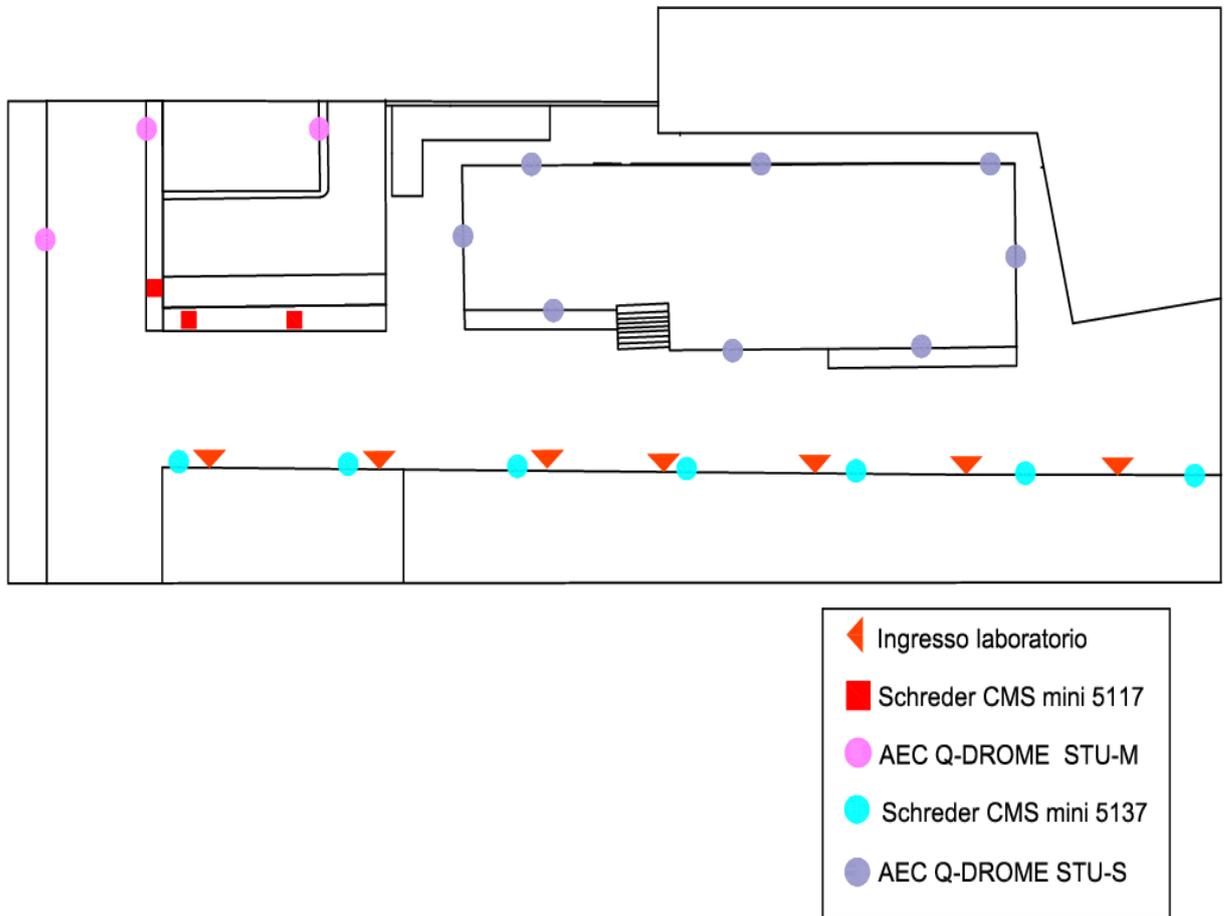
● 7 x SCHREDER CMS(mini) 5139 500 mA
Codice: 343262
Flusso luminoso(sistema): 2373 [lx]
Tipologia sorgente: LED
Flusso luminoso (sorgente):3200 [lx]
Potenza(sorgente): 26 [W]
Efficienza Luminosa: 91 [lm/W]
Temperatura di colore: 4000 [K]
CRI $\geq 70$
IP: 65
IK:08
Peso:10 [kg]
Tipologia di installazione: a parete
h installazione: 8 m



Citea/Maya/Scala LED

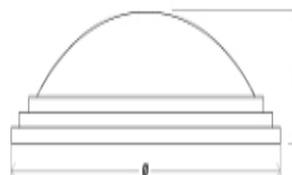
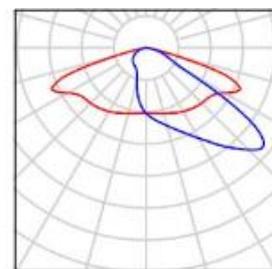
	Mini	Midi	Maxi
Ø	490mm	590mm	675mm
H	167mm	190mm	230mm

### ZONA 3: Viale Guidi



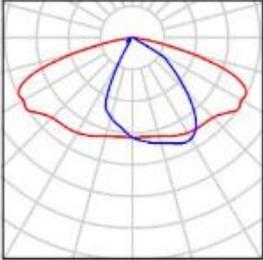
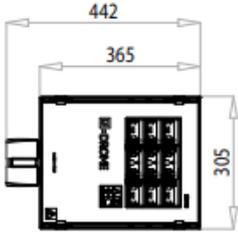
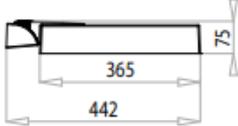
**Figura 18-**Disposizione nuovi punti luce nella Zona 3

<span style="color: red;">■</span> 3 x SCHREDER CMS(mini) 5117 350 mA
Codice: 347472
Flusso luminoso(sistema): 1802 [lx]
Tipologia sorgente: LED
Flusso luminoso (sorgente):2400 [lx]
Potenza(sistema): 19 [W]
Efficienza Luminosa: 95 [lm/W]
Temperatura di colore: 4000 [K]
CRI $\geq 70$
IP: 65
IK:08
Peso:10 [kg]
Tipologia di installazione: testa palo
h installazione: 5,50 m

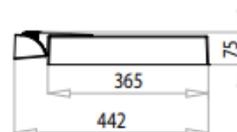
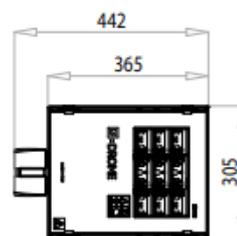
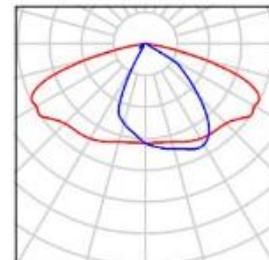


Citea/Maya/Scala LED

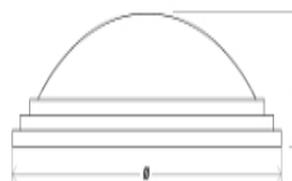
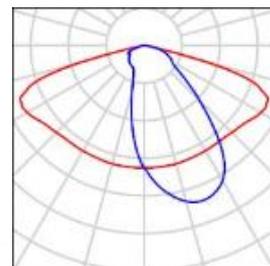
	Mini	Midi	Maxi
Ø	490mm	590mm	675mm
H	167mm	190mm	230mm

● 3 x AEC Q-DROME STU-M 1M 4.4	    
Codice: AEC Q-DROME STU-M 1M 4.4	
Flusso luminoso(sistema): 2840 [lx]	
Tipologia sorgente: LED	
Flusso luminoso (sorgente):3099 [lx]	
Potenza(sistema): 22 [W]	
Efficienza Luminosa: 129 [lm/W]	
Temperatura di colore: 4000 [K]	
CRI $\geq 70$	
IP: 66	
IK:08	
Peso: 5,2 [kg]	
Tipologia di installazione: a parete	
h installazione: 7 m	

● 8 x AEC Q-DROME STU-S 1M 4.5
Codice: AEC Q-DROME STU-S 1M 4.5
Flusso luminoso(sistema): 3490 [lx]
Tipologia sorgente: LED
Flusso luminoso (sorgente):3803 [lx]
Potenza(sistema): 28 [W]
Efficienza Luminosa: 125 [lm/W]
Temperatura di colore: 4000 [K]
CRI $\geq 70$
IP: 66
IK:08
Peso: 5,2 [kg]
Tipologia di installazione: a parete
h installazione: 12 m



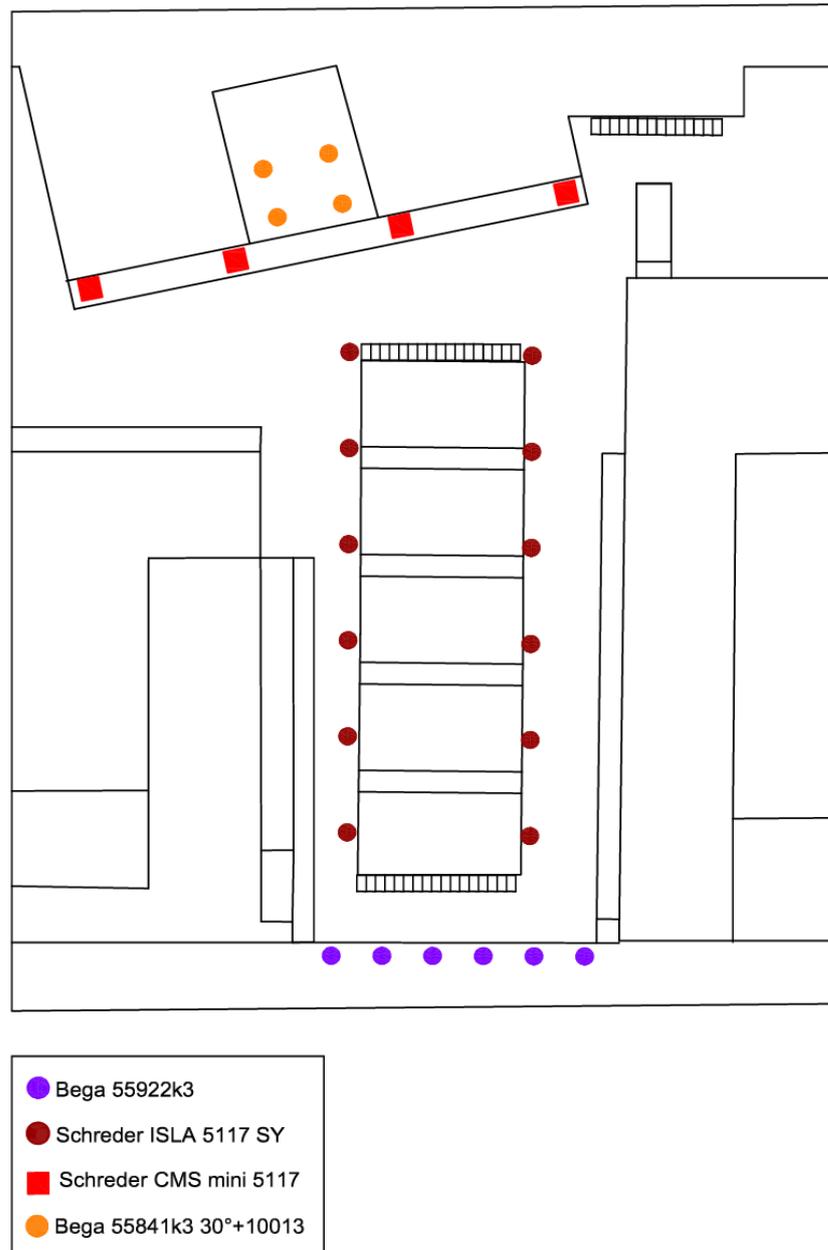
● 7 x SCHREDER CMS(mini) 5137 350 mA
Codice: 343222
Flusso luminoso(sistema): 1831 [lx]
Tipologia sorgente: LED
Flusso luminoso (sorgente):2400 [lx]
Potenza(sistema): 19 [W]
Efficienza Luminosa: 96 [lm/W]
Temperatura di colore: 4000 [K]
CRI $\geq 70$
IP: 65
IK:08
Tipologia di installazione: a parete
h installazione: 8 m



Citea/Maya/Scala LED

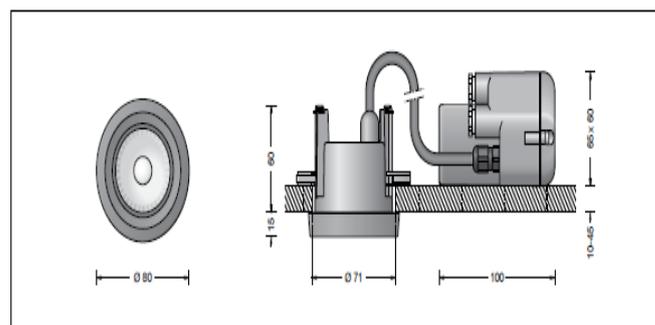
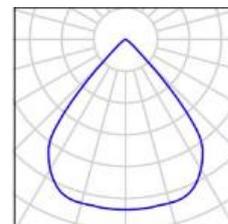
	Mini	Midi	Maxi
Ø	490mm	590mm	675mm
H	167mm	190mm	230mm

## ZONA 4: Piazzale Ferraris

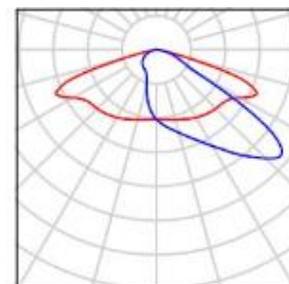


**Figura 19-**Disposizione nuovi punti luce nella Zona 4

● 4 x BEGA apparecchio da incasso a soffitto
Codice: 55922k3
Flusso luminoso(sistema): 322 [lx]
Tipologia sorgente: LED
Flusso luminoso (sorgente):525 [lx]
Potenza(sistema): 4 [W]
Efficienza Luminosa: 80,5 [lm/W]
Temperatura di colore: 3000 [K]
CRI $\geq$ 80
IP: 65
IK:08
Peso:0,3 [kg]
Tipologia di installazione: a soffitto
h installazione: 5,5 m



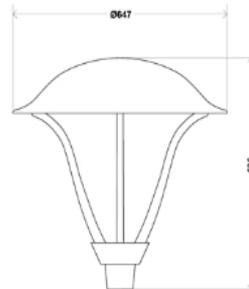
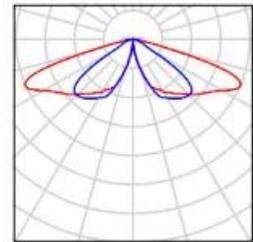
<span style="color: red;">■</span> 4 x SCHREDER CMS(mini) 5117 350 mA
Codice: 347472
Flusso luminoso(sistema): 1802 [lx]
Tipologia sorgente: LED
Flusso luminoso (sorgente):2400 [lx]
Potenza(sistema): 19 [W]
Efficienza Luminosa: 95 [lm/W]
Temperatura di colore: 4000 [K]
CRI $\geq 70$
IP: 65
IK:08
Tipologia di installazione: testa palo
h installazione: 5,50 m



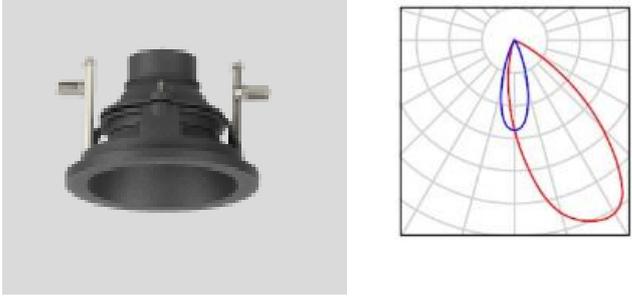
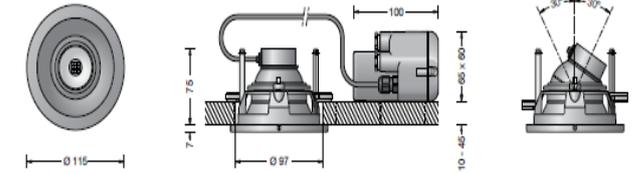
Citea/Maya/Scala LED

	Mini	Midi	Maxi
Ø	490mm	590mm	675mm
H	167mm	190mm	230mm

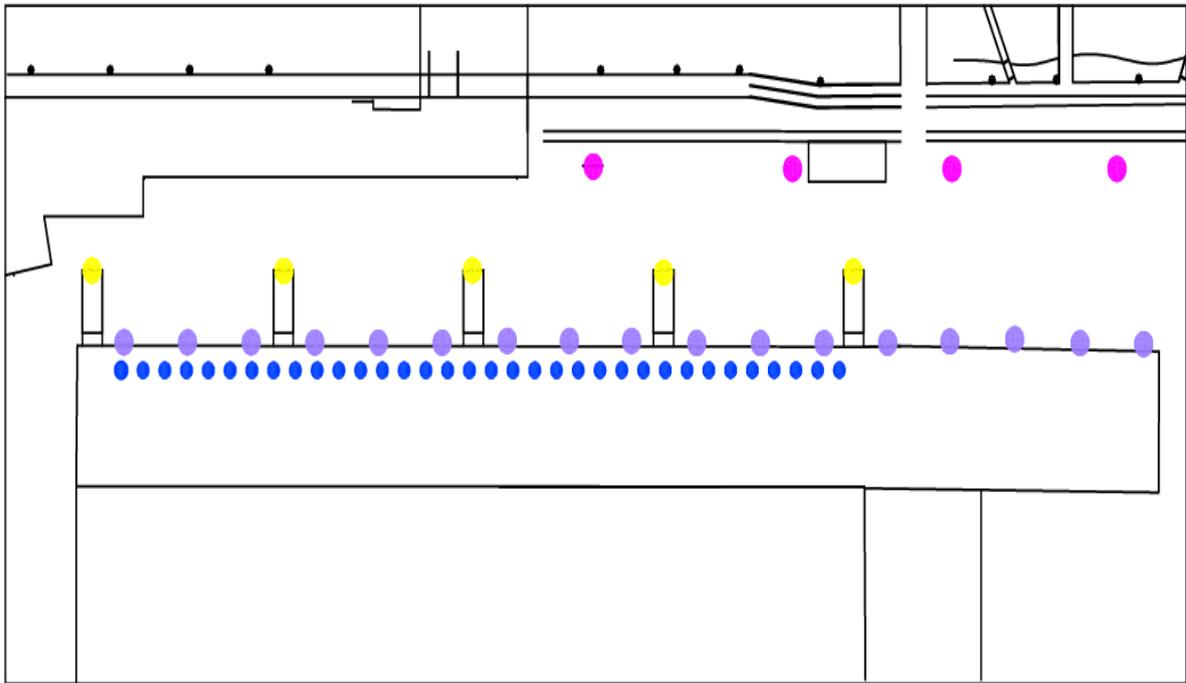
● 12 x SCHREDER ISLA SY 5117 350 mA
Codice: 34420s
Flusso luminoso(sistema): 1575 [lx]
Tipologia sorgente: LED
Flusso luminoso (sorgente):2200 [lx]
Potenza(sistema): 19 [W]
Efficienza Luminosa: 83 [lm/W]
Temperatura di colore: 3000 [K]
CRI $\geq 70$
IP: 66
IK:08
Tipologia di installazione: testa palo
h installazione: 5,50 m



Isla LED	
H	636mm
Ø	647mm

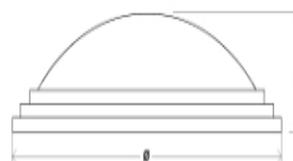
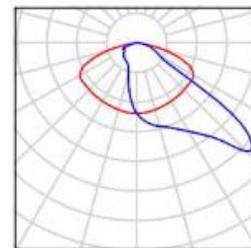
<p>● 6 x BEGA apparecchio da incasso a soffitto</p>	
<p>Codice: 55922k3</p>	
<p>Flusso luminoso(sistema): 322 [lx]</p>	
<p>Tipologia sorgente: LED</p>	
<p>Flusso luminoso (sorgente):525 [lx]</p>	
<p>Potenza(sistema): 4 [W]</p>	
<p>Efficienza Luminosa: 80,5 [lm/W]</p>	
<p>Temperatura di colore: 3000 [K]</p>	
<p>CRI <math>\geq</math>80</p>	
<p>IP: 65</p>	
<p>IK:08</p>	
<p>Tipologia di installazione: a soffitto</p>	
<p>h installazione: 6 m</p>	

ZONA 5: Viale Valluri



**Figura 20-**Disposizione nuovi punti luce nella Zona 5

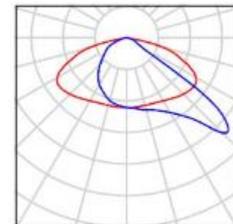
● 17 x SCHREDER CMS(mini) 5139 350 mA
Codice: 343262
Flusso luminoso(sistema): 2697 [lx]
Tipologia sorgente: LED
Flusso luminoso (sorgente):3600 [lx]
Potenza(sistema): 29 [W]
Efficienza Luminosa: 93 [lm/W]
Temperatura di colore: 4000 [K]
CRI $\geq 70$
IP: 65
IK:08
Tipologia di installazione: a parete
h installazione: 12 m



Citea/Maya/Scala LED

	Mini	Midi	Maxi
Ø	490mm	590mm	675mm
H	167mm	190mm	230mm

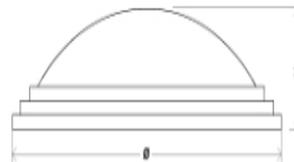
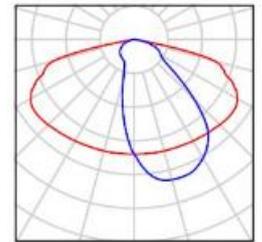
● 5 x SCHREDER CMS(mini) 5139 350 mA
Codice: 343252
Flusso luminoso(sistema): 1999 [lx]
Tipologia sorgente: LED
Flusso luminoso (sorgente):2400 [lx]
Potenza(sistema): 19 [W]
Efficienza Luminosa: 105 [lm/W]
Temperatura di colore: 4000 [K]
CRI $\geq 70$
IP: 65
IK:08
Tipologia di installazione: a parete
h installazione: 5,50 m



Citea/Maya/Scala LED

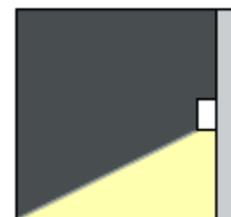
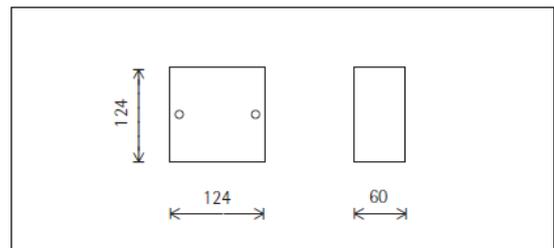
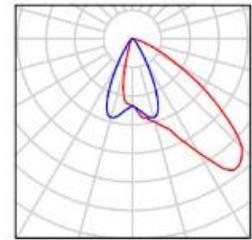
	Mini	Midi	Maxi
Ø	490mm	590mm	675mm
H	167mm	190mm	230mm

● 4 x SCHREDER CMS(mini) 5102 350 mA
Codice: 343072
Flusso luminoso(sistema): 1807 [lx]
Tipologia sorgente: LED
Flusso luminoso (sorgente):2400 [lx]
Potenza(sistema): 19 [W]
Efficienza Luminosa: 95 [lm/W]
Temperatura di colore: 4000 [K]
CRI $\geq 70$
IP: 65
IK:08
Tipologia di installazione: testa palo
h installazione: 5,50 m



Citea/Maya/Scala LED			
	Mini	Midi	Maxi
Ø	490mm	590mm	675mm
H	167mm	190mm	230mm

● 34 x ERCO kubus washer
Codice: 33367000
Flusso luminoso(sistema): 242 [lx]
Tipologia sorgente: LED
Flusso luminoso (sorgente):345 [lx]
Potenza(sistema): 5 [W]
Efficienza Luminosa: 48,4 [lm/W]
Temperatura di colore: 3000 [K]
CRI $\geq$ 90
IP: 65
IK:08
Tipologia di installazione: a parete
h installazione: 4 m



## 4.2 Simulazione illuminotecnica

Al fine di effettuare i calcoli e verificare la validità dell'ipotesi di progetto è stato utilizzato il software DIALux 4.13 che si basa sul metodo della "radiosity", che ricrea l'effetto diffusivo e riflessivo della luce realizzando scene in cui gli effetti della luce sono visibile da qualsiasi angolazione. Le superficie di calcolo stabilite vengono suddivise in un numero definito di celle elementari, che andranno a costituire la griglia di calcolo, e per ognuna di esse viene calcolato il valor medio dell'energia luminosa.

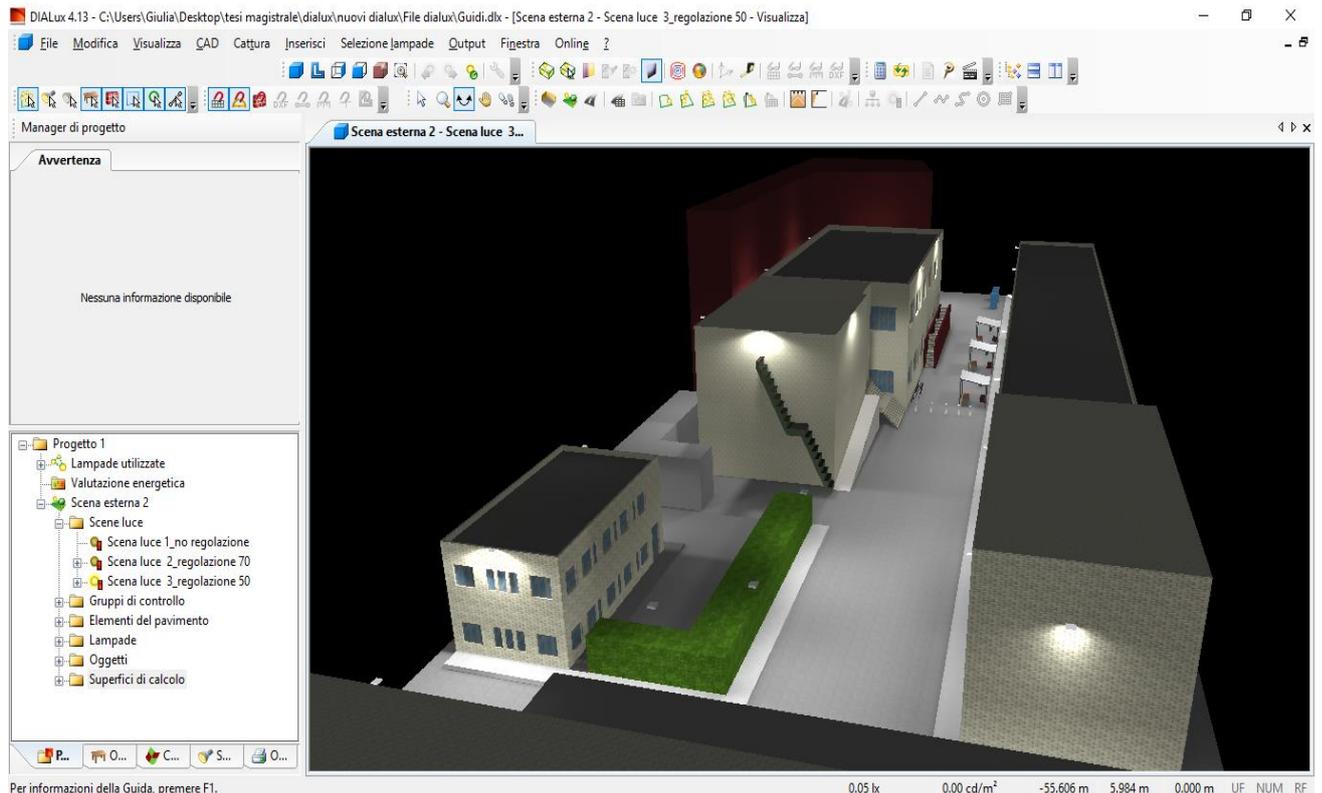


Figura 21-Schermata del software di calcolo DIALux 4.13

All'interno delle scene esterne sono state importate le planimetrie delle cinque zone individuate, che sono state caratterizzate inserendo i vari edifici presenti e gli elementi caratteristici stradali, quali zone veicolari, marciapiedi e parcheggi. Sono stati poi definiti i coefficienti di riflessione delle varie superfici poiché da essi dipende la quota di energia luminosa assorbita e riflessa. Infatti anche quest'ultima, contribuisce alla formazione di una serie di equazioni di bilancio di ogni cella elementare. Si è cercato inoltre di inserire le superfici di calcolo in modo da rispettare le griglie di calcolo individuate per le misurazione degli illuminamenti orizzontali e semicilindrici. La disposizione di tali superfici verrà specificata successivamente. Inoltre ai fini dei calcoli dei parametri illuminotecnici, DIALux definisce automaticamente un osservatore dell'età media di 23 anni, posizionato ad un'altezza di 1,75 metri. Accedendo alla scheda "Metodo di pianificazione della manutenzione" è stato impostato a 0,8 il valore del fattore di manutenzione, utile per garantire i livelli di illuminamento nel tempo in quanto tiene conto del decadimento delle prestazioni della lampada e del corpo illuminante rispetto alle

condizioni iniziali. In particolare, secondo la norma CIE 154:2003 – “ The maintenance of outdoor lighting system”, il fattore di manutenzione MF è dato dalla moltiplicazione di più rendimenti:

$$MF=LLMF*LSF*LMF$$

Dove:

-LLMF=Lamp Lumen Maintenance Factor ,**decadimento del flusso luminoso nel tempo**. Per le sorgenti a LED occorre far riferimento alle curve fornite dai produttori, diverse a seconda della temperatura di giunzione considerata e della corrente di pilotaggio;

-LSF=Lamp Survival Factor, **fattore di sopravvivenza della sorgente** che tiene conto della percentuale di lampade che dopo un determinato intervallo di tempo, in condizione di riferimento continua a funzionare.

-LMF=Luminaire Maintenance Factor ,**fattore di deprezzamento dell'apparecchio** che tiene conto dello sporco che si è accumulato sul vetro di protezione o alle lenti applicate ai diodi. Dipende quindi dal grado di protezione IP dell'apparecchio, dell'intervallo di pulizia e dell'inquinamento ambientale.

Le fotometrie dei corpi illuminanti scelti per le varie zone vengono caricate nel modello e successivamente sono stati anche definiti i gruppi di controllo e le scene di luce secondo i profili di regolazione ipotizzati.

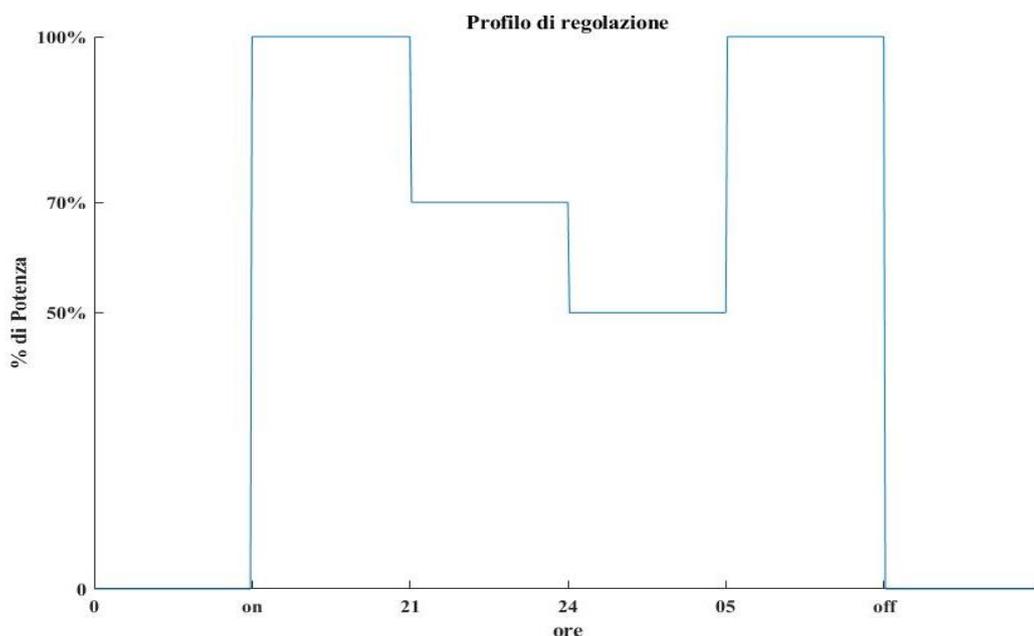
Per gli impianti che garantiscono un'illuminazione di tipo generale si suppone un profilo di regolazione del tipo:

-Accensione - h 21:00→100%

-h 21:00 – 24:00 →70%

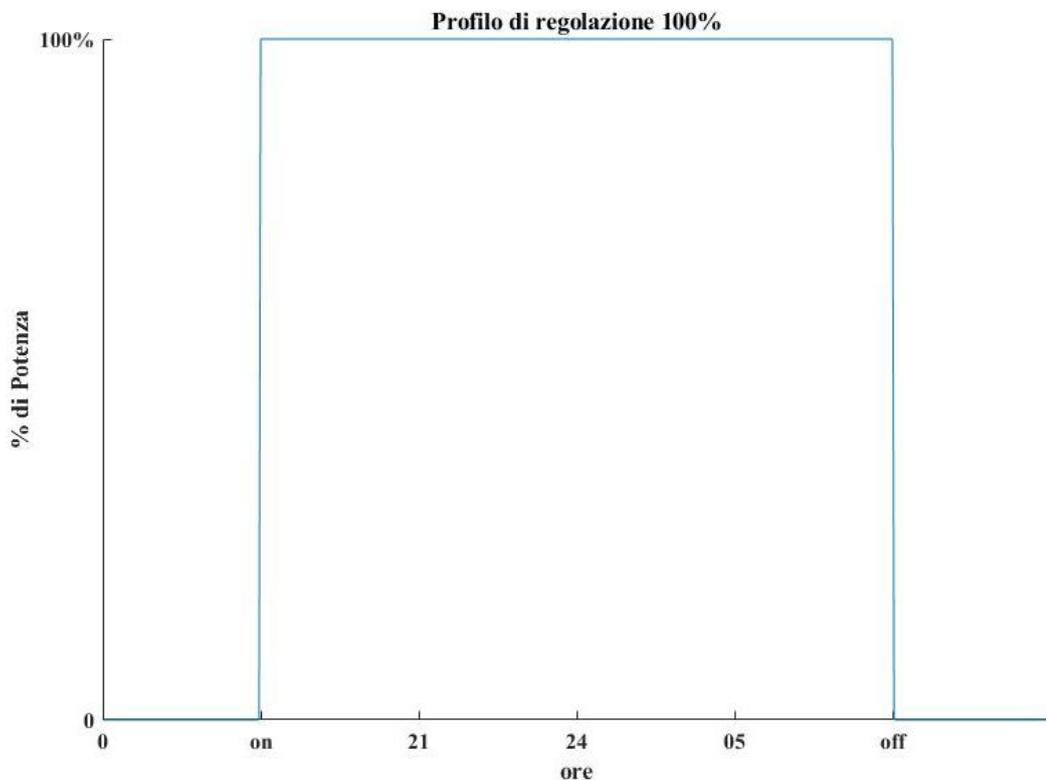
-h 24:00- 5:00→50%

-h 5:00 –Spegnimento →100%



**Grafico 2-**Profilo di regolazione ipotizzato per degli impianti dell'illuminazione generale del progetto

Mentre gli impianti dedicati all'illuminazione di tipo funzionale sono stati mantenuti al 100% di regolazione in tutte le simulazioni.

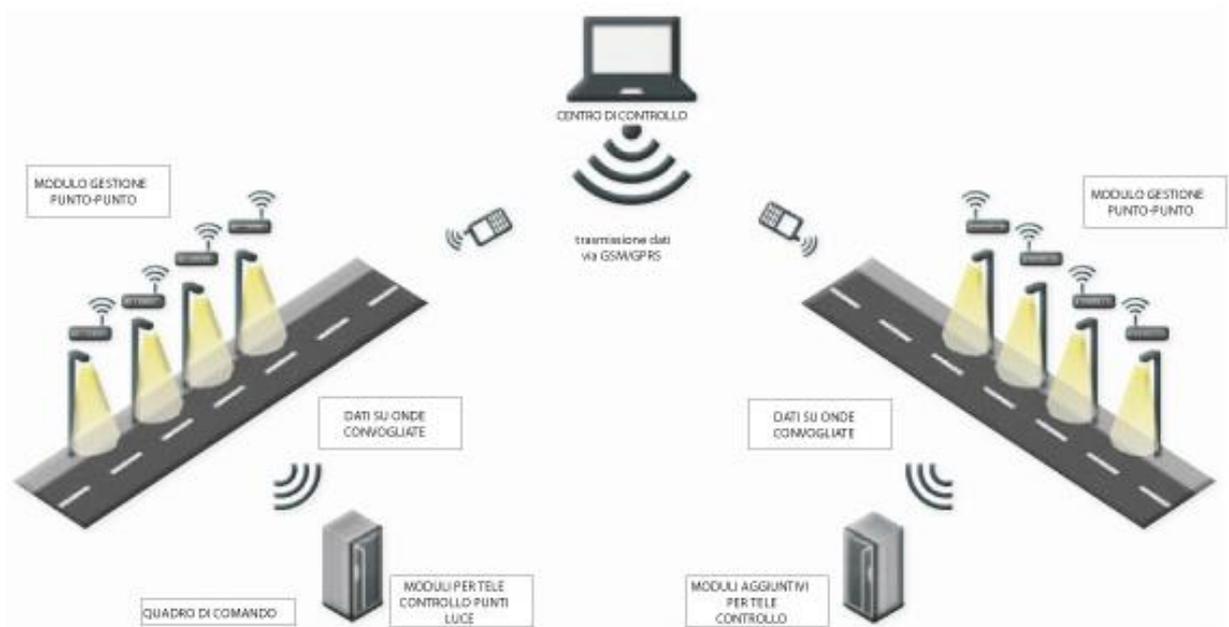


**Grafico 3-**Profilo di regolazione ipotizzato per degli impianti dell'illuminazione funzionale del progetto

In questo modo si cerca di non scendere al di sotto di una categoria illuminotecnica per quanto riguarda la categoria illuminotecnica P e C, al fine di garantire i requisiti minimi di illuminamento e uniformità propri della categoria **P4**, come specificato nel paragrafo 3.2 a seguito dell'analisi dei rischi che è stata condotta.

Va considerato che, come detto più volte, gli impianti attualmente esistenti non prevedono alcuna ipotesi di regolazione della potenza e che quindi gli apparecchi non sono stati dotati di cavi elettrici dedicati al sistema di regolazione. La possibile soluzione che si propone in ambito di questa tesi per risolvere tale problematica, prevede l'utilizzo di moduli di controllo e gestione wireless per la comunicazione tra server, apparecchi e sensori posti all'interno dei corpi illuminanti. In questo modo, l'insieme di apparecchiature elettriche è destinato al monitoraggio, programmazione ed al comando delle singole unità utilizzando la tecnologia a onde convogliate che permette la comunicazione bidirezionale di informazioni digitali tra il modulo installato sull'apparecchio ed il modulo di gestione. Quest'ultimo viene ubicato all'interno del quadro di comando e i dati digitali sono modulati sulla tensione di rete al fine di non utilizzare bus o conduttori aggiuntivi nell'impianto. Il sistema "punto a punto" appare quindi la soluzione più adatta al caso in esame poiché permette di controllare il singolo punto luce per realizzare scenari personalizzati di illuminazione. Infatti attraverso la

centralina di controllo gli impianti possono essere regolati in modo versatile: ad esempio vi è la possibilità di suddividere i vari apparecchi in sottogruppi e con profili di dimmerazione diversi.



**Figura 22**-Esempio di telegestione e regolazione degli impianti di illuminazione tramite sistema ad onde convogliate

La comunicazione tra centro di controllo (PC) e il sistema "punto-punto" avviene sempre tramite il quadro attraverso i canali di comunicazione classici (GSM-GPRS-rete LAN ecc.). Quindi il funzionamento del sistema riportato in Figura avviene sostanzialmente in questo modo: i comandi impartiti dal centro di controllo passano dal modulo di gestione, inserito nel quadro, il quale a sua volta, tramite le onde convogliate, li smista ai singoli apparecchi e viceversa.

Di seguito vengono riportati i risultati illuminotecnici **senza regolazione**, quindi con impianti impostati tutti al 100% della potenza, per ognuna delle cinque aree esterne selezionate, confrontati poi, con i requisiti minimi richiesti dalla normativa in base alla categoria illuminotecnica di appartenenza.

## ZONA 1: Viale Panetti

### 1.1-Lato ingresso C.so Einaudi

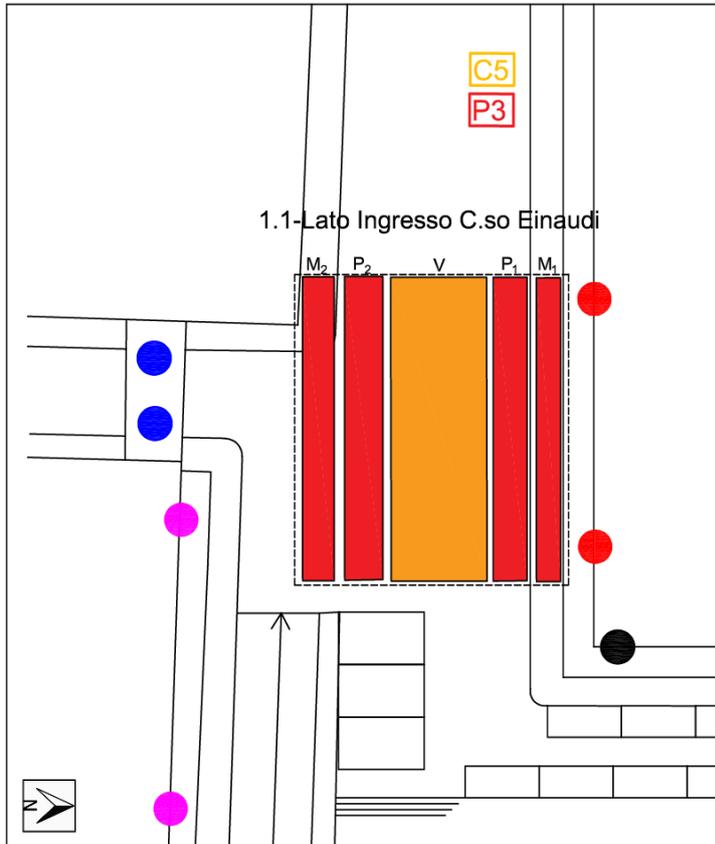


Figura 23-Individuazione superfici di calcolo per la Zona 1.1

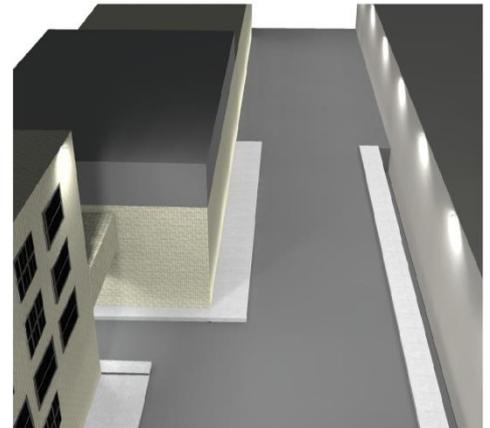


Figura 24-Rendering 3D della Zona 1.1

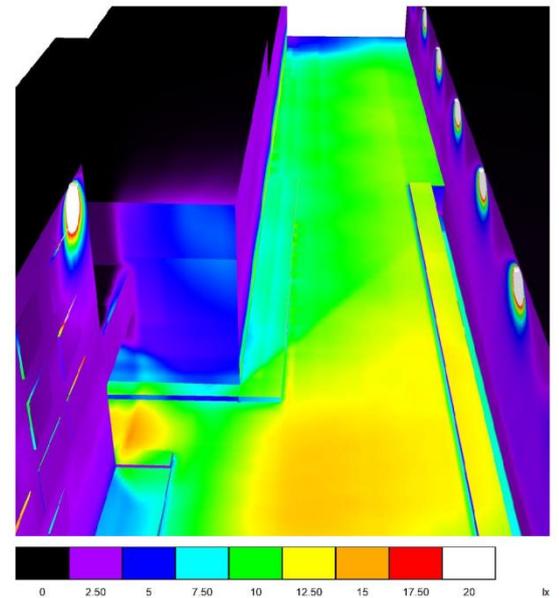


Figura 25-Rendering false color della

**Categoria illuminotecnica-CONFLITTUALE: C5**

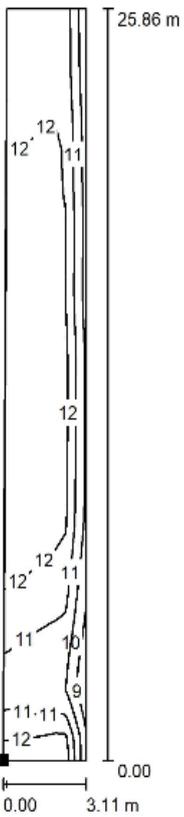
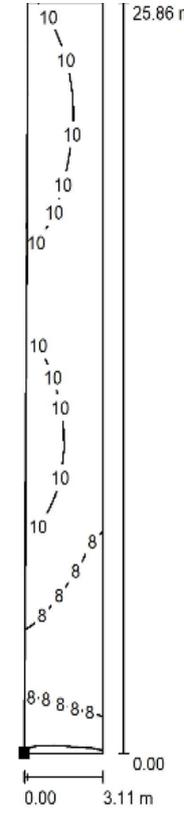
$\bar{E}_{\min} > 7,5 \text{ lux}$      $U_0 > 0,4$     **Normativa UNI EN 13201-2:2016**

**Categoria illuminotecnica-PEDONALE: P3**

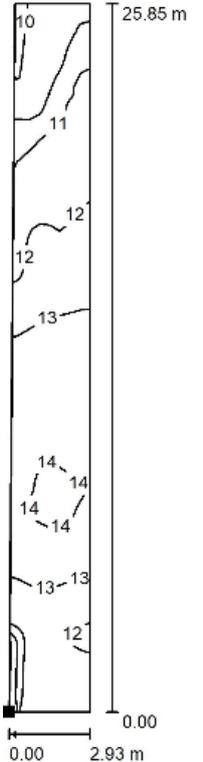
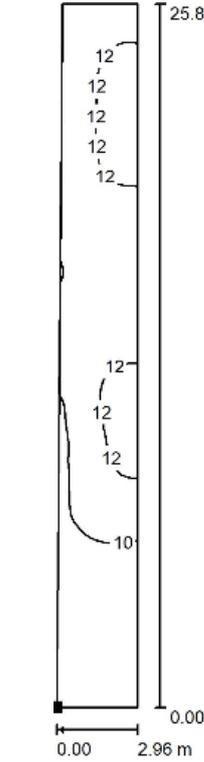
$\bar{E}_m [lx] > 7,5 \text{ lux}$      $E_{\min} [lx] > 1,5 \text{ lux}$      $E_{sc,\min} > 1,5 \text{ lux}$     **Normativa UNI EN 13201-2:2016**

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo $M_1$ (h.0.30 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo $M_1$ (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE			
	$E_{min}=9,95 \text{ lux}$ $E_{max}=15 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,81$ $E_{min}/E_{max}=0,67$	$\bar{E}_m = 12 \text{ lux}$		$\bar{E}_m = 7,15 \text{ lux}$ $E_{max}=9,78 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,68$ $E_{min}/E_{max}=0,49$	$E_{min}=4,83 \text{ lux}$

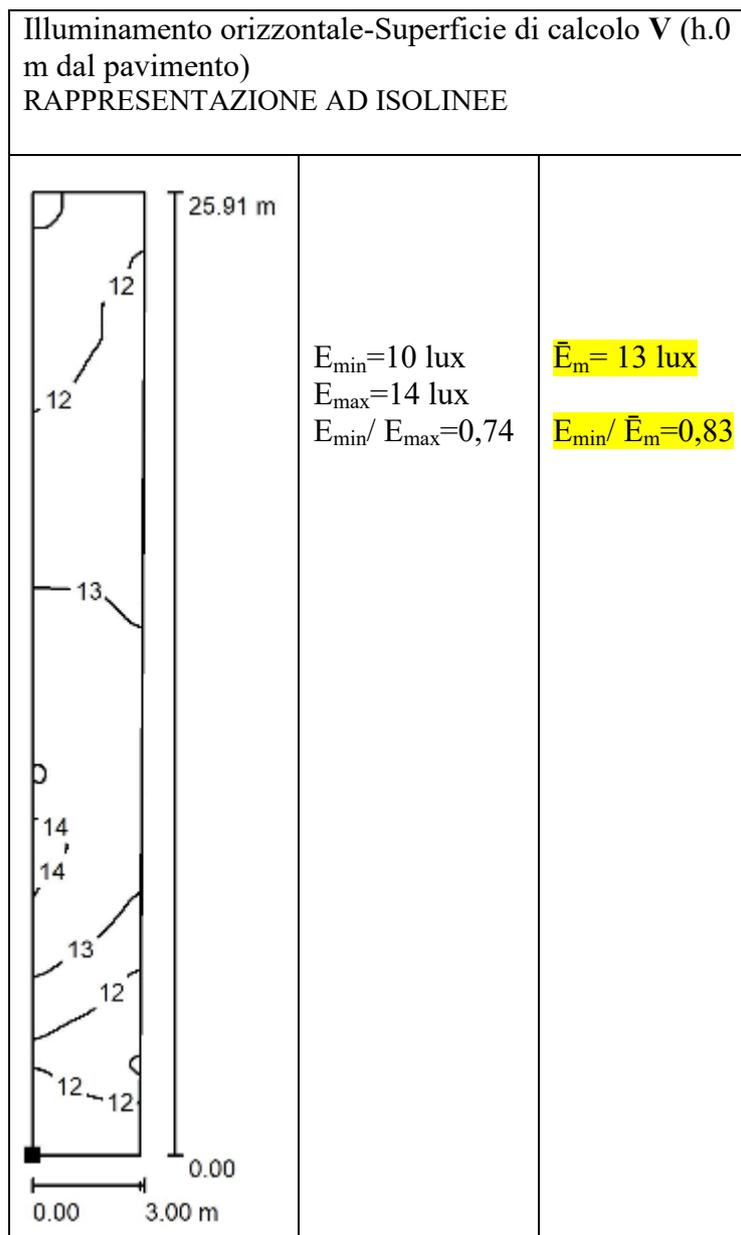
**Tabella 41-**Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica  $M_1$

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo $P_1$ (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo $P_1$ (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE			
	$E_{min}=8,05 \text{ lux}$ $E_{max}=13 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,70$ $E_{min}/E_{max}=0,62$	$\bar{E}_m = 12 \text{ lux}$		$\bar{E}_m = 9,18 \text{ lux}$ $E_{max}=12 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,68$ $E_{min}/E_{max}=0,53$	$E_{min}=6,25 \text{ lux}$

**Tabella 42-**Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica  $P_1$

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo $P_2$ (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE	Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo $P_2$ (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE
 <p> <math>E_{\min}=9,26 \text{ lux}</math>  <math>E_{\max}=14 \text{ lux}</math>  <math>E_{\min}/\bar{E}_m=0,75</math>  <math>E_{\min}/E_{\max}=0,66</math> </p> <p style="text-align: center;"><b><math>\bar{E}_m=12 \text{ lux}</math></b></p>	 <p> <math>\bar{E}_m=11 \text{ lux}</math>  <math>E_{\max}=13 \text{ lux}</math>  <math>E_{\min}/\bar{E}_m=0,75</math>  <math>E_{\min}/E_{\max}=0,60</math> </p> <p style="text-align: center;"><b><math>E_{\min}=8,01 \text{ lux}</math></b></p>

**Tabella 43-**Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica  $P_2$

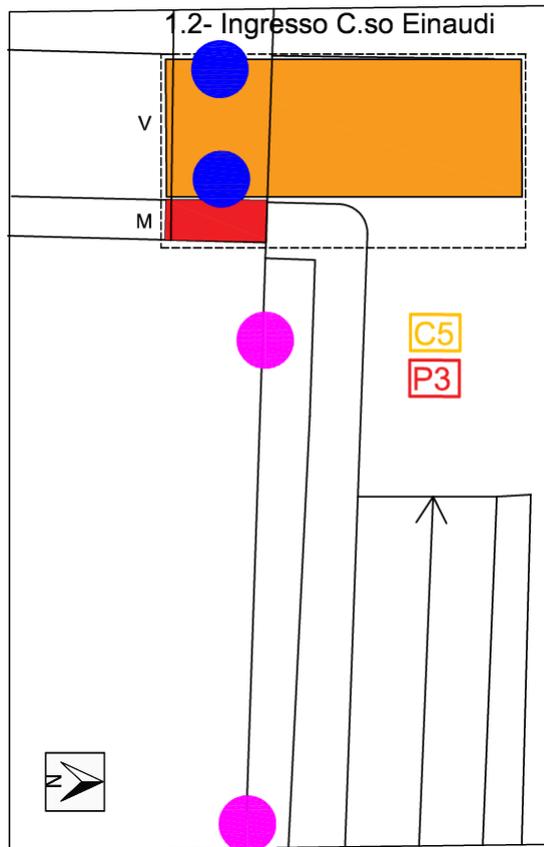


**Tabella 44**-Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare V

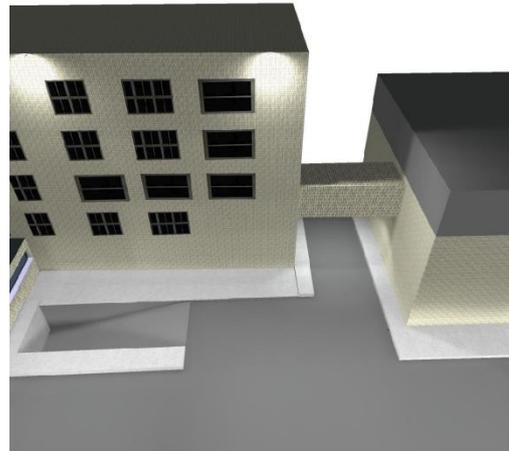
Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo $M_2$ (h.0.30 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo $M_2$ (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE			
	$E_{\min}=7,21$ lux $E_{\max}=12$ lux $E_{\min}/\bar{E}_m=0,82$ $E_{\min}/E_{\max}=0,62$	$\bar{E}_m=8,78$ lux		$\bar{E}_m=7,28$ lux $E_{\max}=9,58$ lux $E_{\min}/\bar{E}_m=0,69$ $E_{\min}/E_{\max}=0,53$	$E_{\min}=5,03$ lux

**Tabella 45**-Isolinee e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica  $M_2$

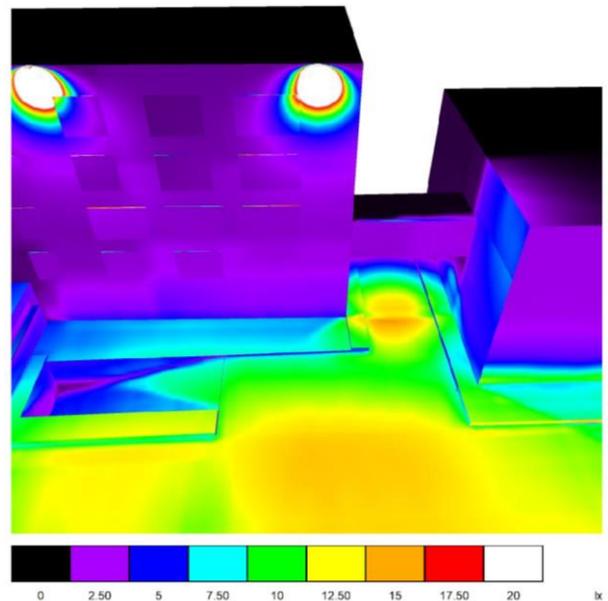
## 1.2-Ingresso C.so Einaudi



**Figura 26-** Individuazione superfici di calcolo per la Zona 1.2



**Figura 27-** Rendering 3D della Zona 1.2



**Figura 28-** Rendering false color della Zona 1.2

### **Categoria illuminotecnica-CONFLITTUALE: C5**

$$\bar{E}_{\min} > 7,5 \text{ lux} \quad U_0 > 0,4$$

**Normativa UNI EN 13201-2:2016**

### **Categoria illuminotecnica-PEDONALE: P3**

$$\bar{E}_m > 7,5 \text{ lux} \quad E_{\min} > 1,5 \text{ lux} \quad E_{\text{sc},\min} > 1,5 \text{ lux} \quad \text{Normativa UNI EN 13201-2:2016}$$

I requisiti minimi da rispettare per questa zona sono superiori a quelli prescritti dalla normativa, poiché per aumentare la sicurezza degli utenti e mettere in risalto l'importanza di tale ingresso rispetto alle aree circostanti ci si riferirà ai valori:

$$\bar{E}_m > 10 \text{ lux} \quad E_{\min} > 2 \text{ lux} \quad E_{\text{sc},\min} > 2 \text{ lux} \quad , \text{ secondo la categoria P2 della norma EN13201-2}$$

$$\bar{E}_{\min} > 10 \text{ lux} \quad U_0 > 0,4 \quad , \text{ secondo la categoria C4 della norma EN 13201-2}$$

illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo V (h.0 m dal pavimento)  
RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE

	$E_{min}=7,06 \text{ lux}$ $E_{max}=15 \text{ lux}$ $E_{min}/ E_{max}=0,48$	$\bar{E}_m= 11 \text{ lux}$ $E_{min}/ \bar{E}_m=0,63$
--	---	--

**Tabella 45-**Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare V

illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo M (h.0.30 m dal pavimento)  
RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE

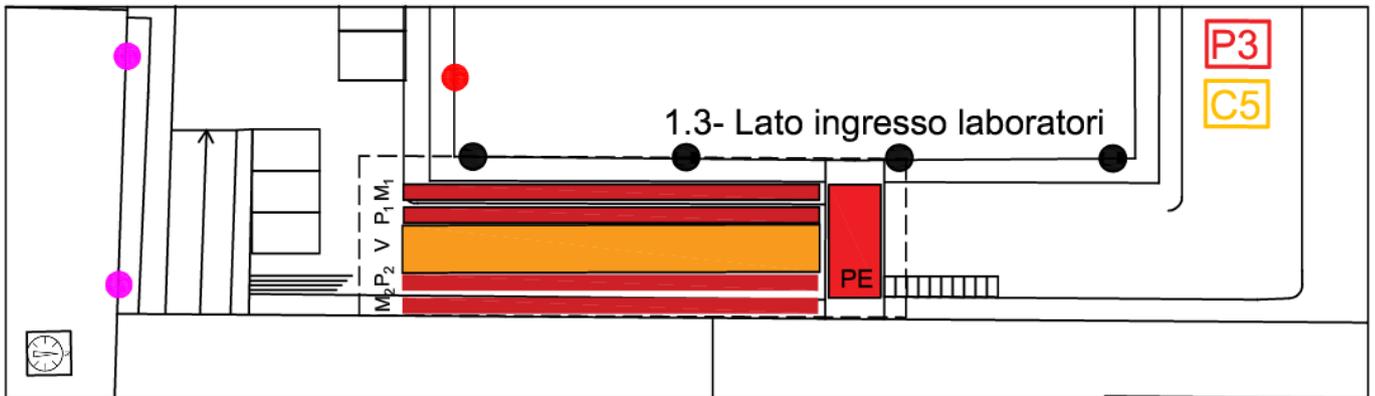
	$E_{min}=5,76 \text{ lux}$ $E_{max}=14 \text{ lux}$ $E_{min}/ \bar{E}_m=0,56$ $E_{min}/ E_{max}=0,41$	$\bar{E}_m= 10 \text{ lux}$
--	--	-----------------------------

illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo M (h.0.30 m dal pavimento)  
RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE

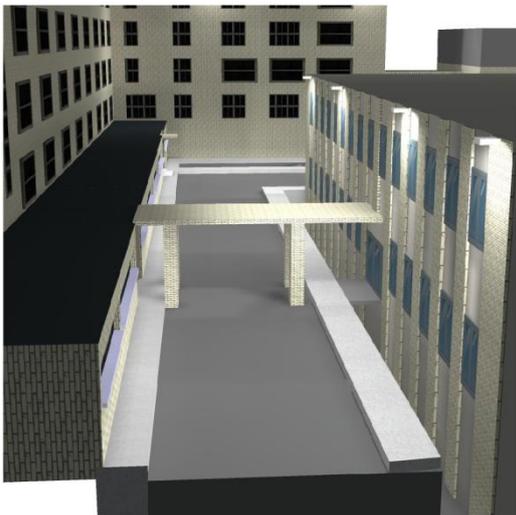
	$\bar{E}_m =4,40 \text{ lux}$ $E_{max}=6,22 \text{ lux}$ $E_{min}/ \bar{E}_m=0,79$ $E_{min}/ E_{max}=0,56$	$E_{min}=3,46 \text{ lux}$
--	---	----------------------------

**Tabella 46-**Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica M

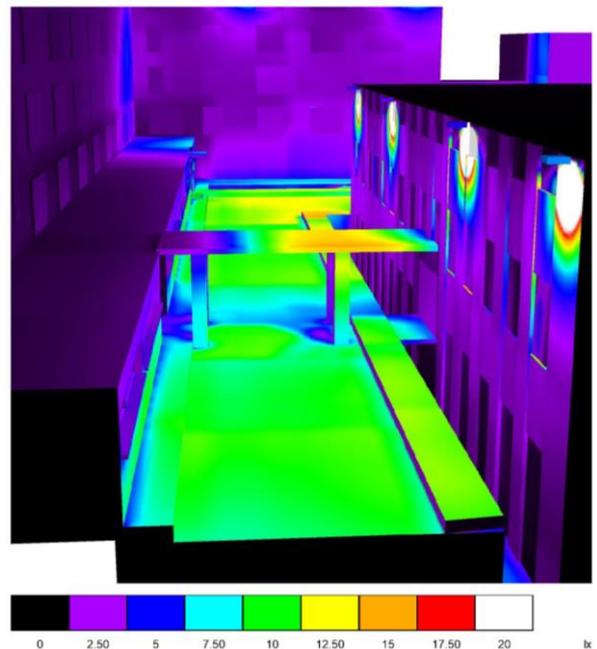
### 1.3-Lato ingresso laboratori



**Figura 29-** Individuazione superfici di calcolo per la Zona 1.3



**Figura 30-** Rendering 3D della Zona 1.3



**Figura 31-** Rendering false color della Zona 1.3

#### **Categoria illuminotecnica-CONFLITTUALE: C5**

$\bar{E}_{min} > 7,5 \text{ lux}$      $U_0 > 0,4$     **Normativa UNI EN 13201-2:2016**

#### **Categoria illuminotecnica-PEDONALE: P3**

$\bar{E}_m > 7,5 \text{ lux}$      $E_{min} > 1,5 \text{ lux}$      $E_{sc,min} > 1,5 \text{ lux}$     **Normativa UNI EN 13201-2:2016**

<p>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>M<sub>1</sub></b> (h.0.30 m dal pavimento)  RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		
	$E_{min}=6,61 \text{ lux}$ $E_{max}=15 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,57$ $E_{min}/E_{max}=0,44$	$\bar{E}_m=12 \text{ lux}$
<p>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>M<sub>1</sub></b> (h.0.30 m dal pavimento)  RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		
	$\bar{E}_m=6,13 \text{ lux}$ $E_{max}=10 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,36$ $E_{min}/E_{max}=0,21$	$E_{min}=2,22 \text{ lux}$

**Tabella 47-**Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica  $M_1$

<p>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>P<sub>1</sub></b> (h.0 m dal pavimento)  RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		
	$E_{min}=7,16 \text{ lux}$ $E_{max}=12 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,69$ $E_{min}/E_{max}=0,59$	$\bar{E}_m=10 \text{ lux}$
<p>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>P<sub>1</sub></b> (h.0 m dal pavimento)  RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		
	$\bar{E}_m=7,22 \text{ lux}$ $E_{max}=9,24 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,45$ $E_{min}/E_{max}=0,36$	$E_{min}=3,29 \text{ lux}$

**Tabella 48-**Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica  $P_1$

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo $P_2$ (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$E_{min}=7,16$ lux $E_{max}=12$ lux $E_{min}/\bar{E}_m=0,69$ $E_{min}/E_{max}=0,59$	$\bar{E}_m=10$ lux
Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo $P_2$ (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$\bar{E}_m=7,22$ lux $E_{max}=9,24$ lux $E_{min}/\bar{E}_m=0,45$ $E_{min}/E_{max}=0,36$	$E_{min}=3,29$ lux

**Tabella 49**-Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica  $P_2$

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo $V$ (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$E_{min}=6,93$ lux $E_{max}=13$ lux $E_{min}/E_{max}=0,53$	$\bar{E}_m=11$ lux $E_{min}/\bar{E}_m=0,65$

**Tabella 50**-Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare  $V$

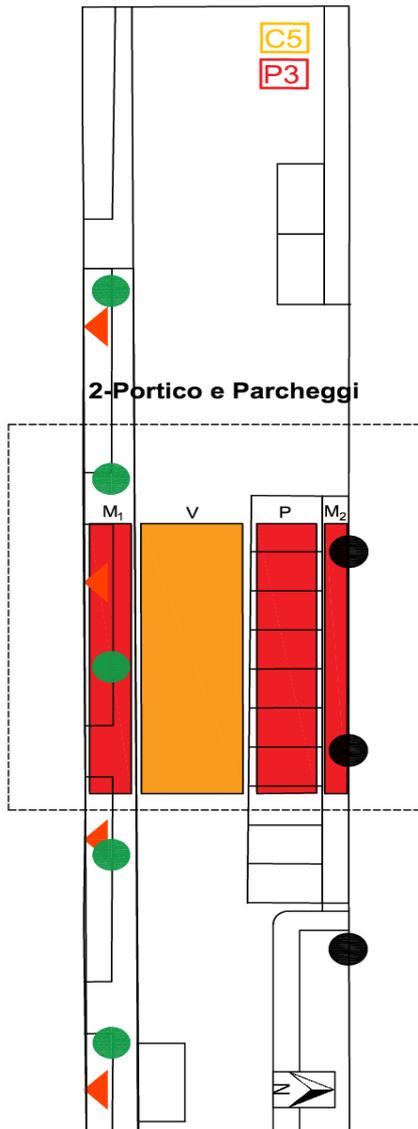
<b>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <math>M_2</math> (h.0,30 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$E_{min}=6,31$ lux $E_{max}=12$ lux $E_{min}/\bar{E}_m=0,63$ $E_{min}/E_{max}=0,53$	$\bar{E}_m=10$ lux
<b>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <math>M_2</math> (h.0 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$\bar{E}_m=5,29$ lux $E_{max}=7,09$ lux $E_{min}/\bar{E}_m=0,51$ $E_{min}/E_{max}=0,38$	$E_{min}=2,69$ lux

**Tabella 51-**Isolinee e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica  $M_2$

<b>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <math>PE</math> (h.0,30 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>	<b>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <math>PE</math> (h.1,50 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>
$E_{min}=1,75$ lux $E_{max}=11$ lux $E_{min}/\bar{E}_m=0,22$ $E_{min}/E_{max}=0,15$	$\bar{E}_m=4,19$ lux $E_{max}=7,84$ lux $E_{min}/\bar{E}_m=0,36$ $E_{min}/E_{max}=0,19$
$\bar{E}_m=8,07$ lux	$E_{min}=1,50$ lux

**Tabella 52-**Isolinee e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica  $PE$

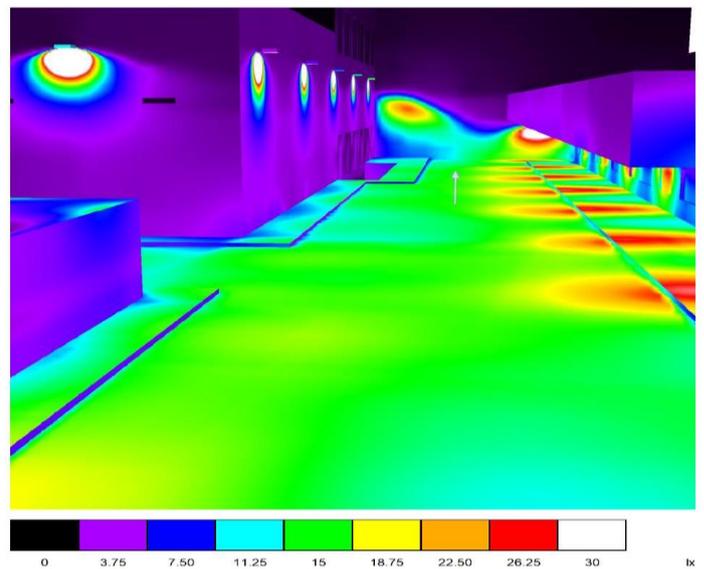
## ZONA 2: Viale Castigliano



**Figura 32-** Individuazione superfici di calcolo per la Zona 2



**Figura 33-** Rendering 3D della Zona 1.3



**Figura 34-** Rendering false color della Zona 2

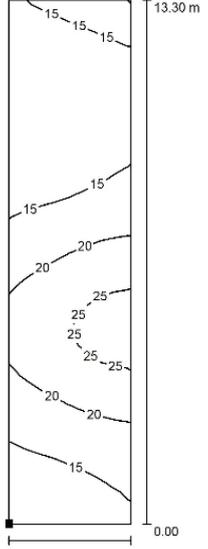
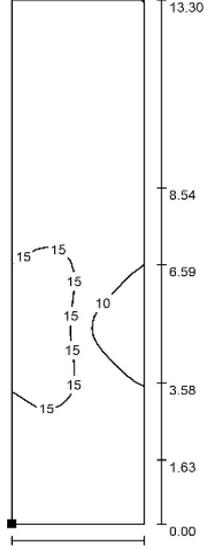
### Categoria illuminotecnica-CONFLITTUALE: C5

$\bar{E}_{\min} > 7,5 \text{ lux}$	$U_0 > 0,4$	<b>Normativa UNI EN 13201-2:2016</b>
------------------------------------	-------------	--------------------------------------

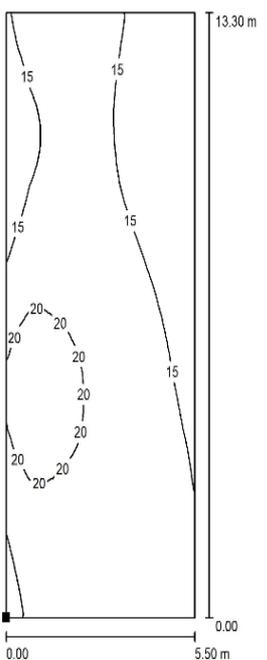
### Categoria illuminotecnica-PEDONALE: P3

$\bar{E}_m > 7,5 \text{ lux}$	$E_{\min} > 1,5 \text{ lux}$	$E_{sc,\min} > 1,5 \text{ lux}$	<b>Normativa UNI EN 13201-2:2016</b>
-------------------------------	------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------

Secondo le esigenze definite nel paragrafo 3.5, in corrispondenza della superficie di calcolo  $M_1$  vengono richiesti illuminamenti più alti poiché si tratta di zone di carico e scarico merci e perciò valgono i requisiti minimi specificati nella categoria illuminotecnica  $P_2$ .

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo $M_1$ (h.0,30 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE	Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo $M_1$ (h.1,50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE
 <p> <math>E_{\min}=11 \text{ lux}</math>  <math>E_{\max}=27 \text{ lux}</math>  <math>E_{\min}/\bar{E}_m=0,65</math>  <math>E_{\min}/E_{\max}=0,41</math> </p> <p style="text-align: center;"><b><math>\bar{E}_m=17 \text{ lux}</math></b></p>	 <p> <math>\bar{E}_m=12 \text{ lux}</math>  <math>E_{\max}=18 \text{ lux}</math>  <math>E_{\min}/\bar{E}_m=0,54</math>  <math>E_{\min}/E_{\max}=0,36</math> </p> <p style="text-align: center;"><b><math>E_{\min}=6,66 \text{ lux}</math></b></p>

**Tabella 53-**Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica  $M_1$

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo V (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE
 <p> <math>E_{\min}=12 \text{ lux}</math>  <math>E_{\max}=25 \text{ lux}</math>  <math>E_{\min}/E_{\max}=0,49</math> </p> <p style="text-align: center;"><b><math>\bar{E}_m=16 \text{ lux}</math></b></p> <p style="text-align: center;"><b><math>E_{\min}/\bar{E}_m=0,73</math></b></p>

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>P</b> (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE			Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>P</b> (h.1,50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$E_{\min}=8,90 \text{ lux}$ $E_{\max}=15 \text{ lux}$ $E_{\min}/\bar{E}_m=0,68$ $E_{\min}/E_{\max}=0,60$	$\bar{E}_m=13 \text{ lux}$		$\bar{E}_m=10 \text{ lux}$ $E_{\max}=13 \text{ lux}$ $E_{\min}/\bar{E}_m=0,66$ $E_{\min}/E_{\max}=0,51$	$E_{\min}=6,71 \text{ lux}$

**Tabella 54-**Isolinee e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica P

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>M<sub>2</sub></b> (h.0,30 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE			Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>M<sub>2</sub></b> (h.1,50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$E_{\min}=8,64 \text{ lux}$ $E_{\max}=14 \text{ lux}$ $E_{\min}/\bar{E}_m=0,77$ $E_{\min}/E_{\max}=0,63$	$\bar{E}_m=11 \text{ lux}$		$\bar{E}_m=5,02 \text{ lux}$ $E_{\max}=6,55 \text{ lux}$ $E_{\min}/\bar{E}_m=0,61$ $E_{\min}/E_{\max}=0,47$	$E_{\min}=3,05 \text{ lux}$

**Tabella 55-**Isolinee e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica M<sub>2</sub>

## ZONA 3: Viale Guidi

### 3.1-Asilo nido/Ingresso Corso Castelfidardo

#### 3.1-Asilo Nido/Ingresso C.so Castelfidardo

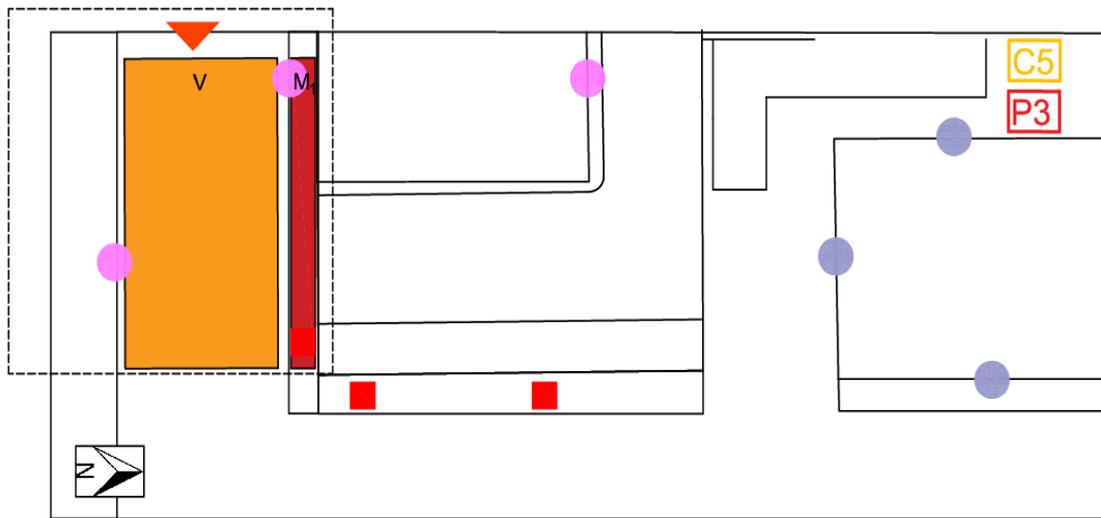


Figura 35- Individuazione superfici di calcolo per la Zona 3.1

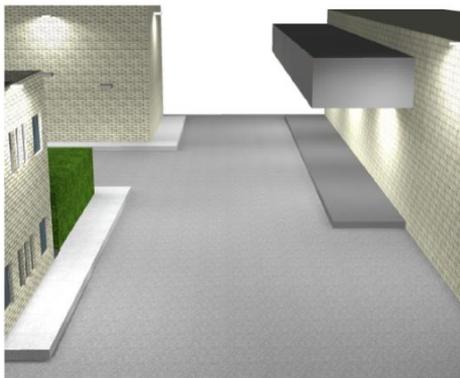


Figura 36- Rendering 3D della Zona 3.1

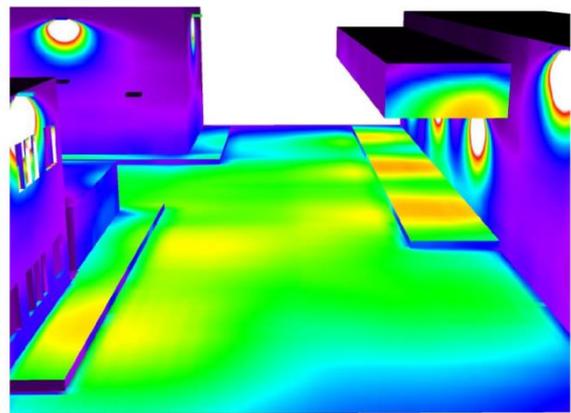


Figura 37- Rendering false color della Zona 3.1

#### Categoria illuminotecnica-CONFLITTUALE: C5

$\bar{E}_{\min} > 7,5 \text{ lux}$      $U_0 > 0,4$     Normativa UNI EN 13201-2:2016

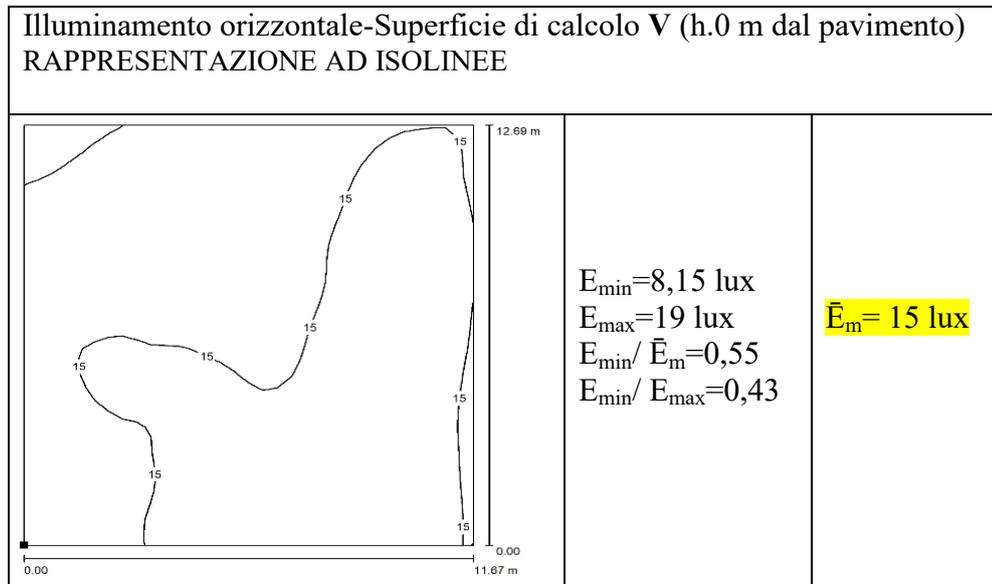
#### Categoria illuminotecnica-PEDONALE: P3

$\bar{E}_m > 7,5 \text{ lux}$      $E_{\min} > 1,5 \text{ lux}$      $E_{sc,\min} > 1,5 \text{ lux}$     Normativa UNI EN 13201-2:2016

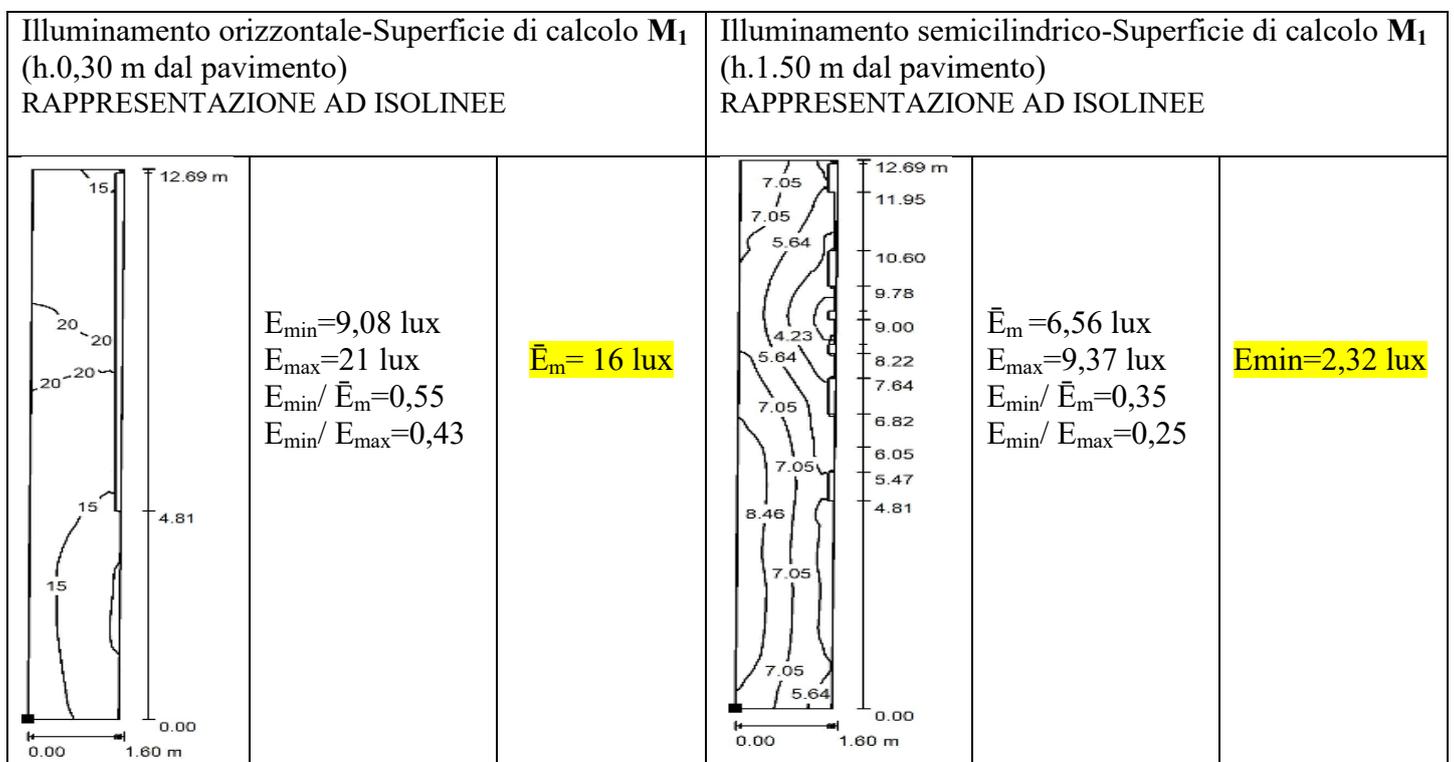
Anche in questo caso i requisiti minimi da rispettare superiori a quelli prescritti dalla normativa, poiché trattasi di un punto d'accesso al Politecnico e passaggio, oltre agli utenti consueti, di bambini che frequentano l'asilo nido "Policino". Perciò i valori da rispettare risultano essere:

$\bar{E}_m > 10 \text{ lux}$   $E_{\min} > 2 \text{ lux}$   $E_{sc,\min} > 2 \text{ lux}$ , secondo la categoria P2 della norma EN13201-2

$\bar{E}_{\min} > 10 \text{ lux}$   $U_0 > 0,4$ , secondo la categoria C4 della norma EN 13201-2.

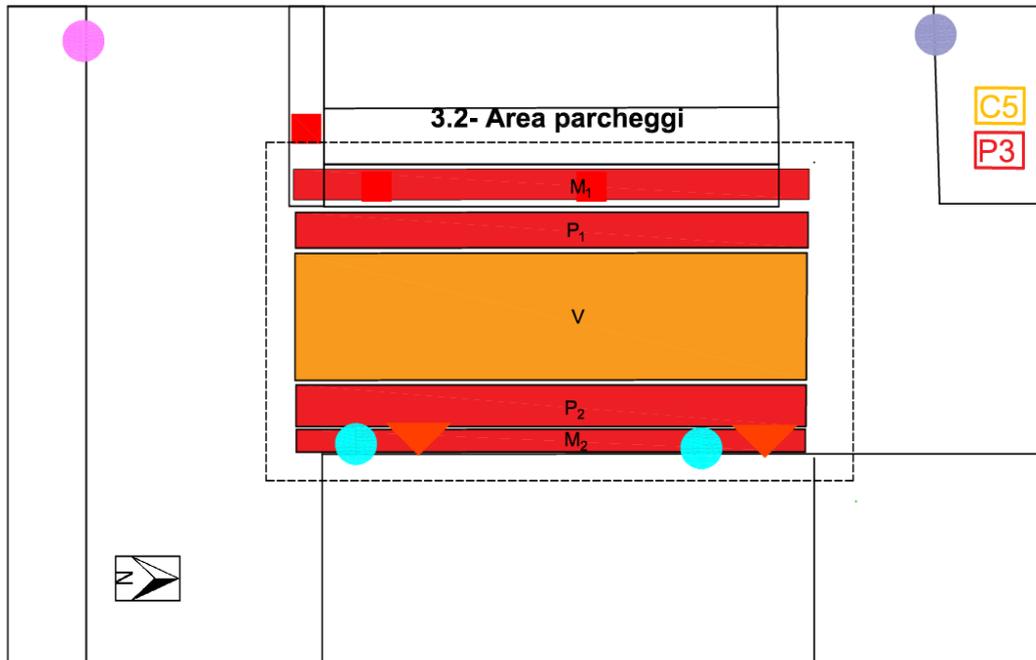


**Tabella 56-**Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare V

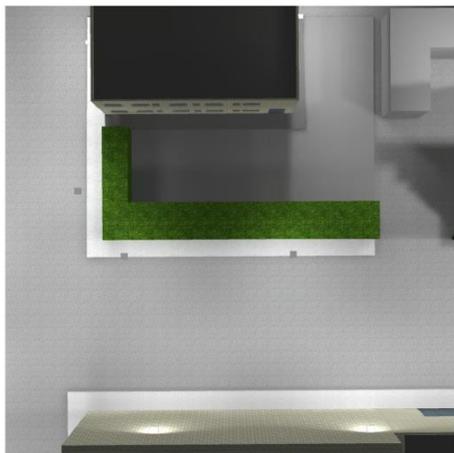


**Tabella 57-**Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica M<sub>1</sub>

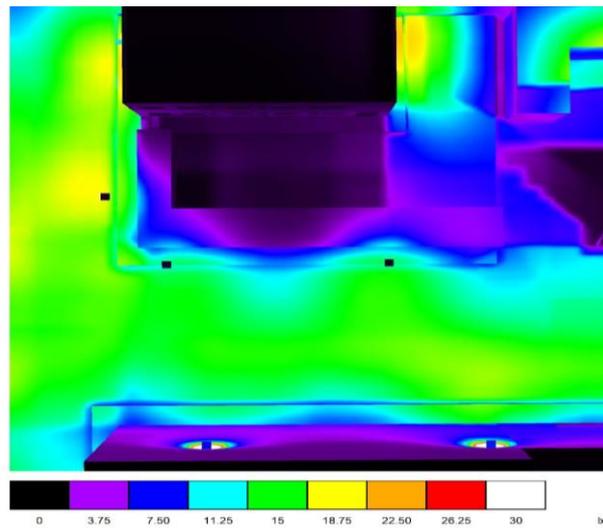
### 3.2-Area parcheggi



**Figura 38-** Individuazione superfici di calcolo per la Zona 3.2



**Figura 39-** Rendering 3D della Zona 3.2



**Figura 40-** Rendering false color della Zona 3.2

**Categoria illuminotecnica-CONFLITTUALE: C5**

$\bar{E}_{\min} > 7,5 \text{ lux}$      $U_0 > 0,4$     **Normativa UNI EN 13201-2:2016**

**Categoria illuminotecnica-PEDONALE: P3**

$\bar{E}_m > 7,5 \text{ lux}$      $E_{\min} > 1,5 \text{ lux}$      $E_{sc,\min} > 1,5 \text{ lux}$     **Normativa UNI EN 13201-2:2016**

<p>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <math>M_1</math> (h.0,30 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		
	<p><math>E_{min}=5,86</math> lux  <math>E_{max}=17</math> lux  <math>E_{min}/\bar{E}_m=0,54</math>  <math>E_{min}/E_{max}=0,33</math></p>	<p><math>\bar{E}_m=10</math> lux</p>
<p>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <math>M_1</math> (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		
	<p><math>\bar{E}_m=6,03</math> lux  <math>E_{max}=12</math> lux  <math>E_{min}/\bar{E}_m=0,70</math>  <math>E_{min}/E_{max}=0,34</math></p>	<p><math>E_{min}=4,21</math> lux</p>

**Tabella 58**-Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica  $M_1$

<p>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <math>P_1</math> (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		
	<p><math>E_{min}=8,56</math> lux  <math>E_{max}=17</math> lux  <math>E_{min}/\bar{E}_m=0,65</math>  <math>E_{min}/E_{max}=0,52</math></p>	<p><math>\bar{E}_m=13</math> lux</p>
<p>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <math>P_1</math> (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		
	<p><math>\bar{E}_m=8,91</math> lux  <math>E_{max}=14</math> lux  <math>E_{min}/\bar{E}_m=0,61</math>  <math>E_{min}/E_{max}=0,38</math></p>	<p><math>E_{min}=5,40</math> lux</p>

**Tabella 59**-Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica  $P_1$

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>V</b> (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$E_{min}=12 \text{ lux}$ $E_{max}=17 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,81$ $E_{min}/E_{max}=0,71$	$\bar{E}_m=15 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,81$

**Tabella 60**-Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare V

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>P<sub>2</sub></b> (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$E_{min}=8,24 \text{ lux}$ $E_{max}=18 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,60$ $E_{min}/E_{max}=0,47$	$\bar{E}_m=14 \text{ lux}$

Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>P<sub>2</sub></b> (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$\bar{E}_m=9,43 \text{ lux}$ $E_{max}=11 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,73$ $E_{min}/E_{max}=0,61$	$E_{min}=6,84 \text{ lux}$

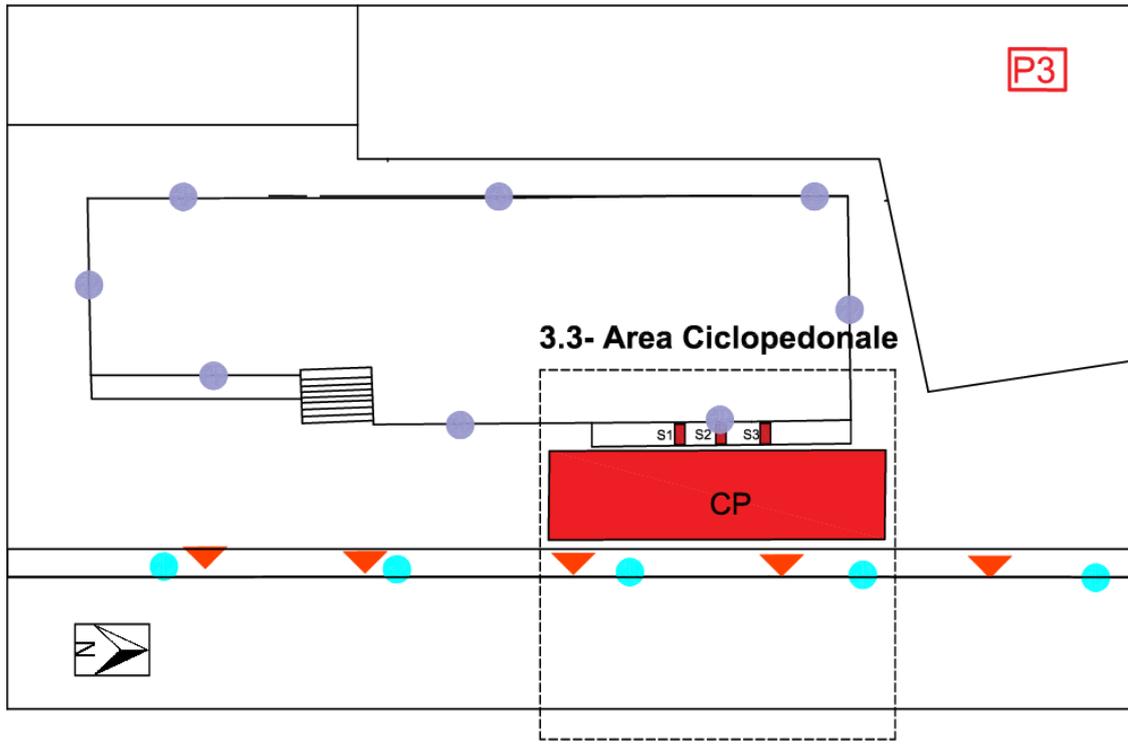
**Tabella 61**-Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica P<sub>2</sub>

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>M<sub>2</sub></b> (h.0,30 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$E_{min}=8,09 \text{ lux}$ $E_{max}=17 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,69$ $E_{min}/E_{max}=0,49$	$\bar{E}_m=12 \text{ lux}$

Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>M<sub>2</sub></b> (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$\bar{E}_m=7,24 \text{ lux}$ $E_{max}=9,74 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,64$ $E_{min}/E_{max}=0,$	$E_{min}=4,64 \text{ lux}$

**Tabella 62-**Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica  $M_2$

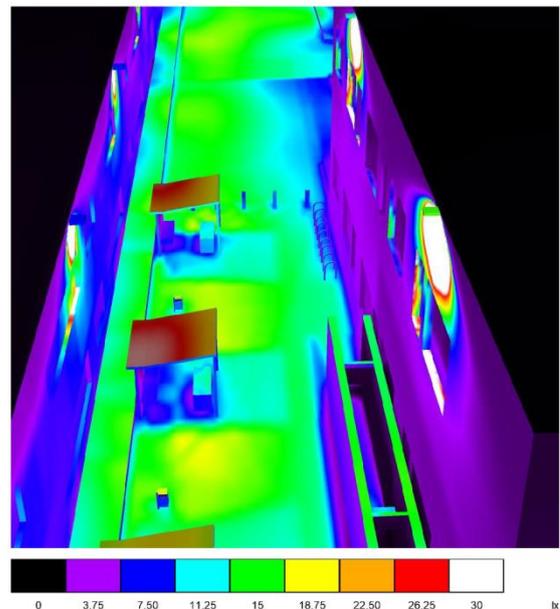
### 3.3-Area ciclopedonale



**Figura 41-** Individuazione superfici di calcolo per la Zona 3.3



**Figura 42-** Rendering 3D della Zona 3.3



**Figura 43-**Rendering false color della Zona 3.3

### Categoria illuminotecnica-PEDONALE: P3

$\bar{E}_m > 7,5 \text{ lux}$	$E_{\min} > 1,5 \text{ lux}$	$E_{sc,\min} > 1,5 \text{ lux}$	<b>Normativa UNI EN 13201-2:2016</b>
-------------------------------	------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------

Caratteristica importante di quest'area risulta essere il passaggio da zona a traffico misto a zona riservata al transito di pedoni e biciclette. Infatti l'accesso è consentito ai soli veicoli per il trasporto merci nei laboratori e presso i distributori di vivande. Per illuminare adeguatamente questo punto e garantire una sicurezza fisica maggiore, i requisiti minimi da rispettare sono relativi alla classe illuminotecnica P2 invece che P3:

$\bar{E}_m > 10 \text{ lux}$   $E_{\min} > 2 \text{ lux}$   $E_{sc,\min} > 2 \text{ lux}$ , secondo la categoria P2 della norma EN13201-2

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo PE (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$E_{\min} = 3,89 \text{ lux}$ $E_{\max} = 19 \text{ lux}$ $E_{\min} / \bar{E}_m = 0,30$ $E_{\min} / E_{\max} = 0,21$	$\bar{E}_m = 13 \text{ lux}$
Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo PE (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$\bar{E}_m = 6,65 \text{ lux}$ $E_{\max} = 8,96 \text{ lux}$ $E_{\min} / \bar{E}_m = 0,53$ $E_{\min} / E_{\max} = 0,39$	$E_{\min} = 3,53 \text{ lux}$

**Tabella 44-**Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica PE

Per le scale esterne d'accesso alle Aule 27 e 28 di questa zona sono state scelte tre superfici di calcolo che rappresentassero in modo indicativo la struttura e i risultati di illuminamento minimo medio mantenuto per la superficie di calcolo perpendicolare e di illuminamento minimo per la superficie di calcolo semicilindrica vengono riportati nella tabella seguente:

<p>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>S1</b> (h.0,85 m dal pavimento)</p>	<p><math>\bar{E}_m = 9,68 \text{ lux}</math></p>	<p>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>S1</b> (h.1.50 m dal pavimento)</p>	<p><math>E_{\min} = 1,95 \text{ lux}</math></p>
<p>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>S2</b> (h.1,50 m dal pavimento)</p>	<p><math>\bar{E}_m = 11 \text{ lux}</math></p>	<p>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>S2</b> (h.3,00 m dal pavimento)</p>	<p><math>E_{\min} = 2,07 \text{ lux}</math></p>
<p>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>S3</b> (h.3,00 m dal pavimento)</p>	<p><math>\bar{E}_m = 15 \text{ lux}</math></p>	<p>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>S3</b> (h.4,50 m dal pavimento)</p>	<p><math>E_{\min} = 2,26 \text{ lux}</math></p>

**Tabella 63**-Risultati della simulazione illuminotecnica per le superfici di calcolo perpendicolare e semicilindrica S1,S2,S3

## ZONA 4: Piazzale Ferraris

### 4.1-Corridio laterale

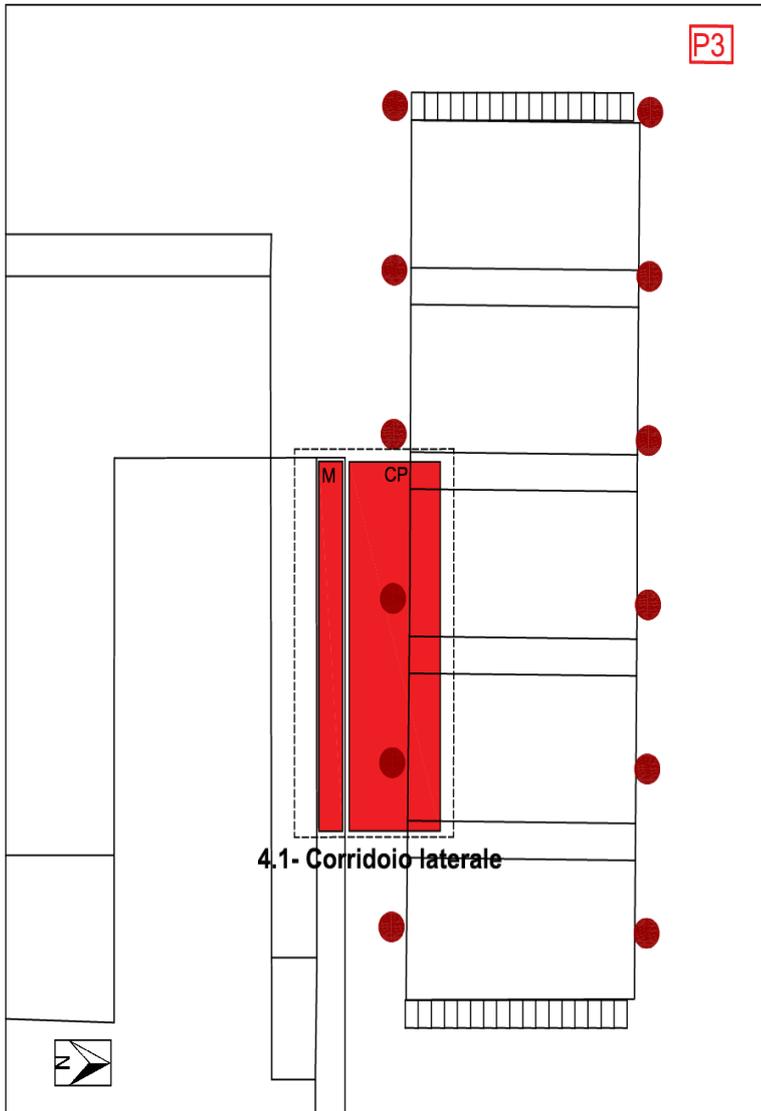


Figura 45- Individuazione superfici di calcolo per la Zona 4.1

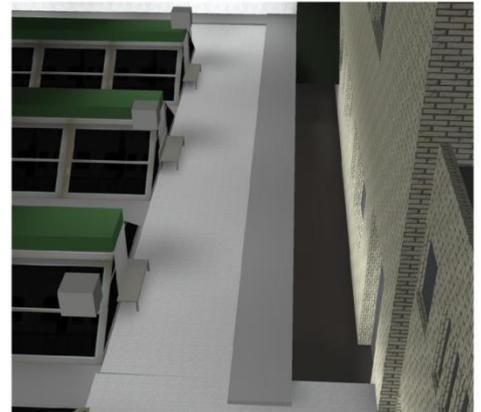


Figura 46- Rendering 3D della Zona 4.1

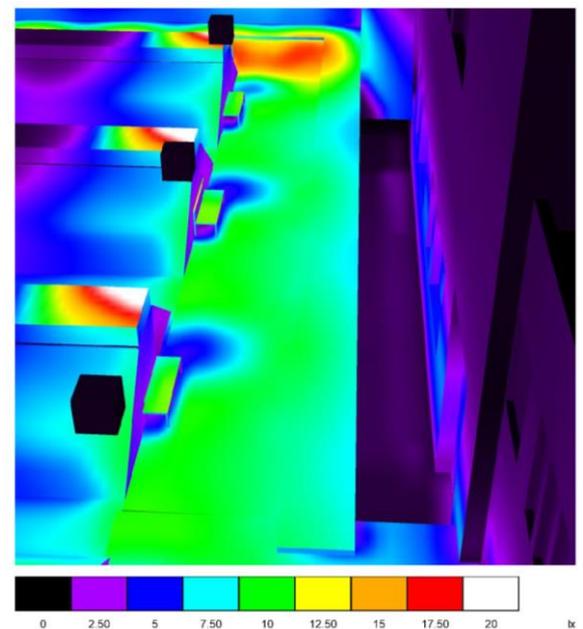


Figura 47-Rendering false color della Zona 4.1

### Categoria illuminotecnica-PEDONALE: P3

$\bar{E}_m > 7,5 \text{ lux}$      $E_{\min} > 1,5 \text{ lux}$      $E_{\text{sc},\min} > 1,5 \text{ lux}$     **Normativa UNI EN 13201-2:2016**

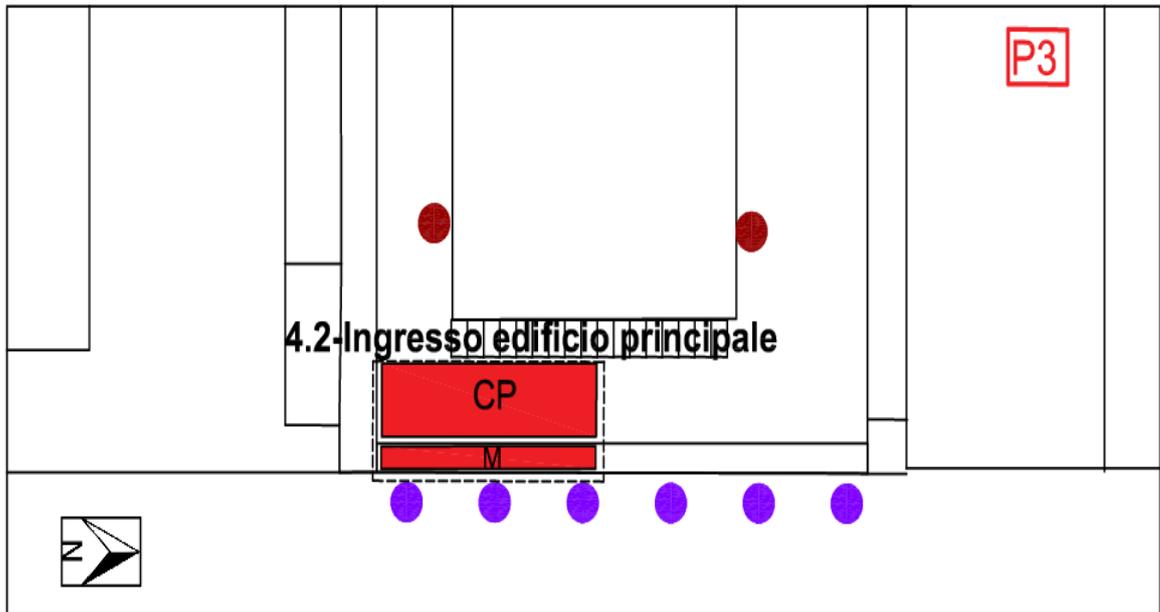
Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>M</b> (h.0,15 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE			Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>M</b> (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE
	$E_{min}=9,87 \text{ lux}$ $E_{max}=16 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,84$ $E_{min}/E_{max}=0,61$	$\bar{E}_m=12 \text{ lux}$	

**Tabella 63-**Isolinee e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica M

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>CP</b> (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE			Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>CP</b> (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE
	$E_{min}=6,48 \text{ lux}$ $E_{max}=17 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,51$ $E_{min}/E_{max}=0,38$	$\bar{E}_m=13 \text{ lux}$	

**Tabella 64-**Isolinee e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica CP

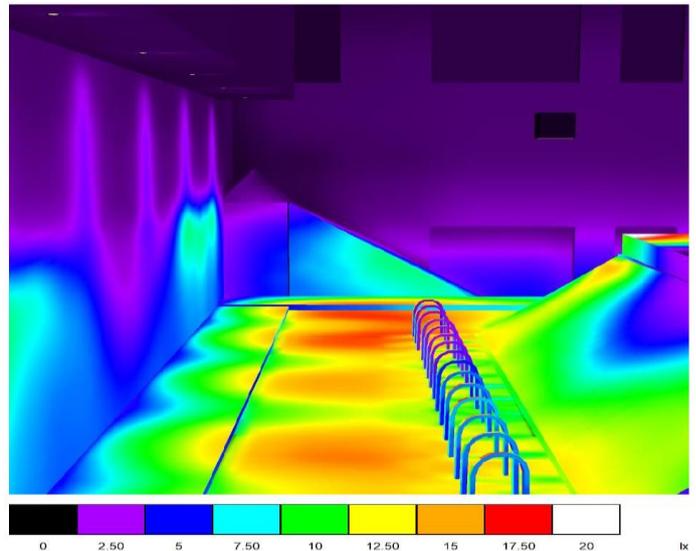
## 4.2-Ingresso edificio principale



**Figura 48-** Individuazione superfici di calcolo per la Zona 4.2



**Figura49-** Rendering 3D della Zona 4.2



**Figura 50-** Rendering false color della Zona 4.2

### Categoria illuminotecnica-PEDONALE: P3

$\bar{E}_m > 7,5 \text{ lux}$	$E_{\min} > 1,5 \text{ lux}$	$E_{sc,\min} > 1,5 \text{ lux}$	<b>Normativa UNI EN 13201-2:2016</b>
-------------------------------	------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------

In presenza dell'ingresso verso l'edificio principale del Politecnico si è ritenuto opportuno portare ad un livello superiore i requisiti minimi, riferendosi alla classe illuminotecnica P2 invece che alla P3:

$\bar{E}_m > 10 \text{ lux}$   $E_{\min} > 2 \text{ lux}$   $E_{sc,\min} > 2 \text{ lux}$  , secondo la categoria P2 della norma EN13201-2

<b>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo M (h.0,15 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$E_{min}=7,64 \text{ lux}$ $E_{max}=16 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,65$ $E_{min}/E_{max}=0,47$	$\bar{E}_m=12 \text{ lux}$
<b>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo M (h.1.50 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$\bar{E}_m=5,22 \text{ lux}$ $E_{max}=8,21 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,60$ $E_{min}/E_{max}=0,40$	$E_{min}=3,11 \text{ lux}$

**Tabella 65-**Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica M

<b>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo CP (h.0 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$E_{min}=9,93 \text{ lux}$ $E_{max}=19 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,63$ $E_{min}/E_{max}=0,51$	$\bar{E}_m=16 \text{ lux}$
<b>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo CP (h.1.50 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$\bar{E}_m=7,23 \text{ lux}$ $E_{max}=12 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,54$ $E_{min}/E_{max}=0,32$	$E_{min}=3,91 \text{ lux}$

**Tabella 66-**Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica CP

### 4.3-Ingresso segreteria

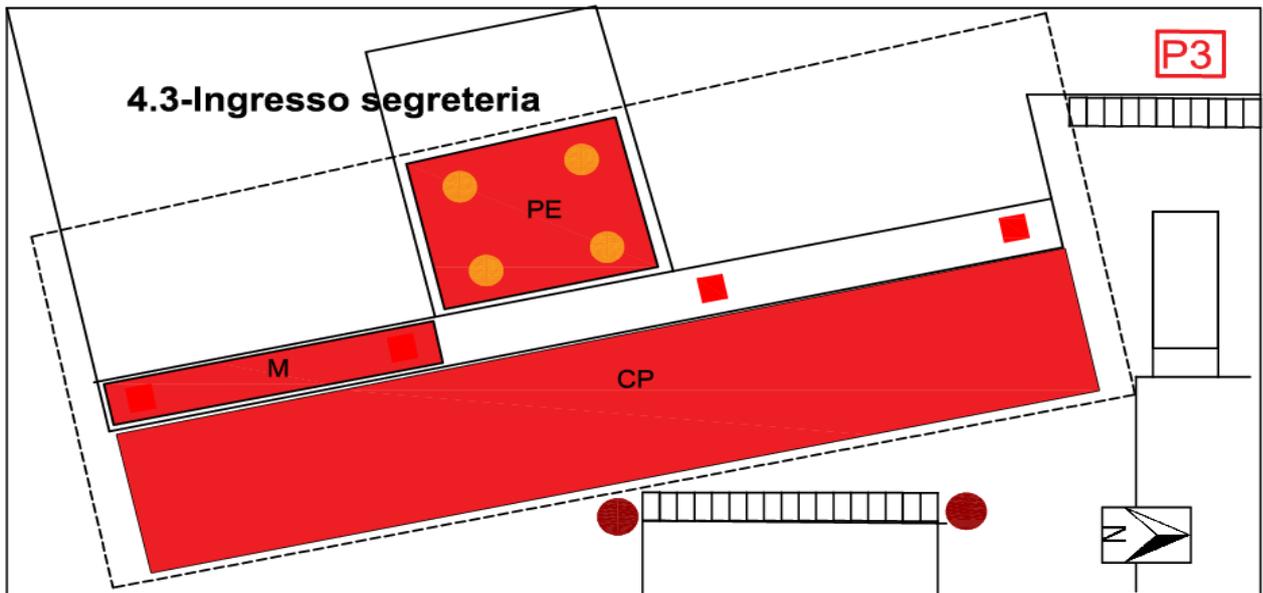


Figura 51- Individuazione superfici di calcolo per la Zona 4.3



Figura 52- Rendering 3D della Zona 4.3

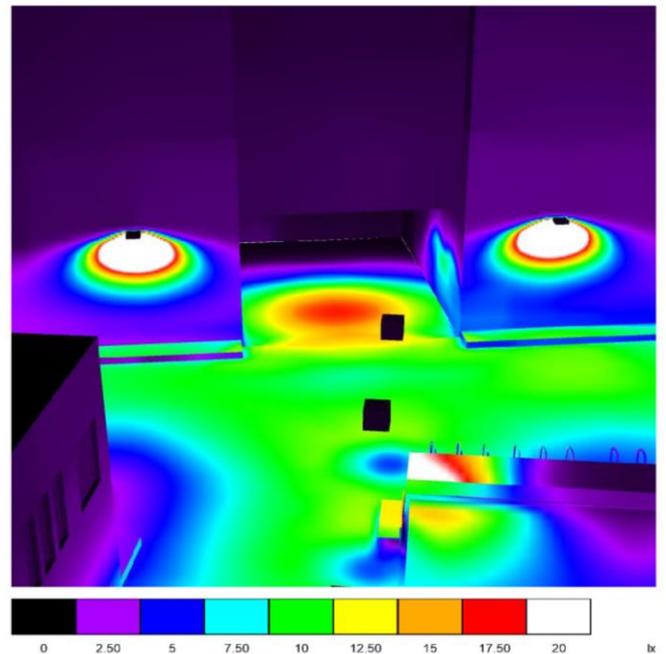


Figura 53- Rendering false color della Zona

4.3

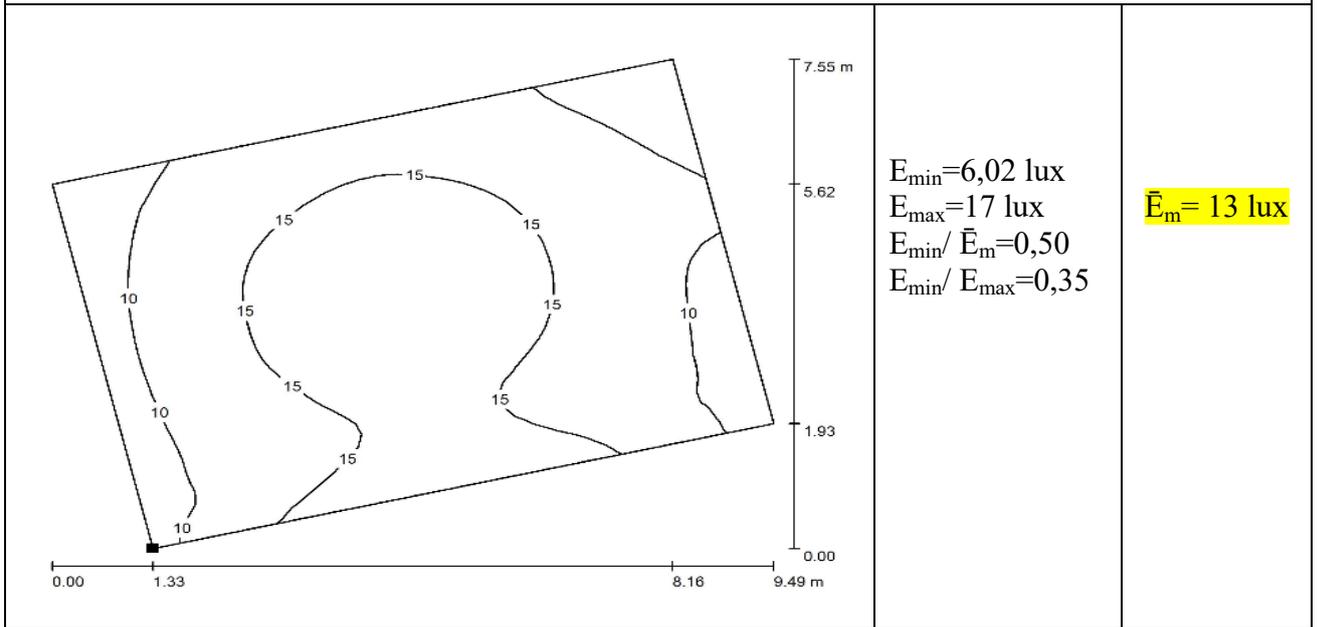
#### Categoria illuminotecnica-PEDONALE: P3

$\bar{E}_m > 7,5 \text{ lux}$	$E_{\min} > 1,5 \text{ lux}$	$E_{sc,\min} > 1,5 \text{ lux}$	<b>Normativa UNI EN 13201-2:2016</b>
-------------------------------	------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------

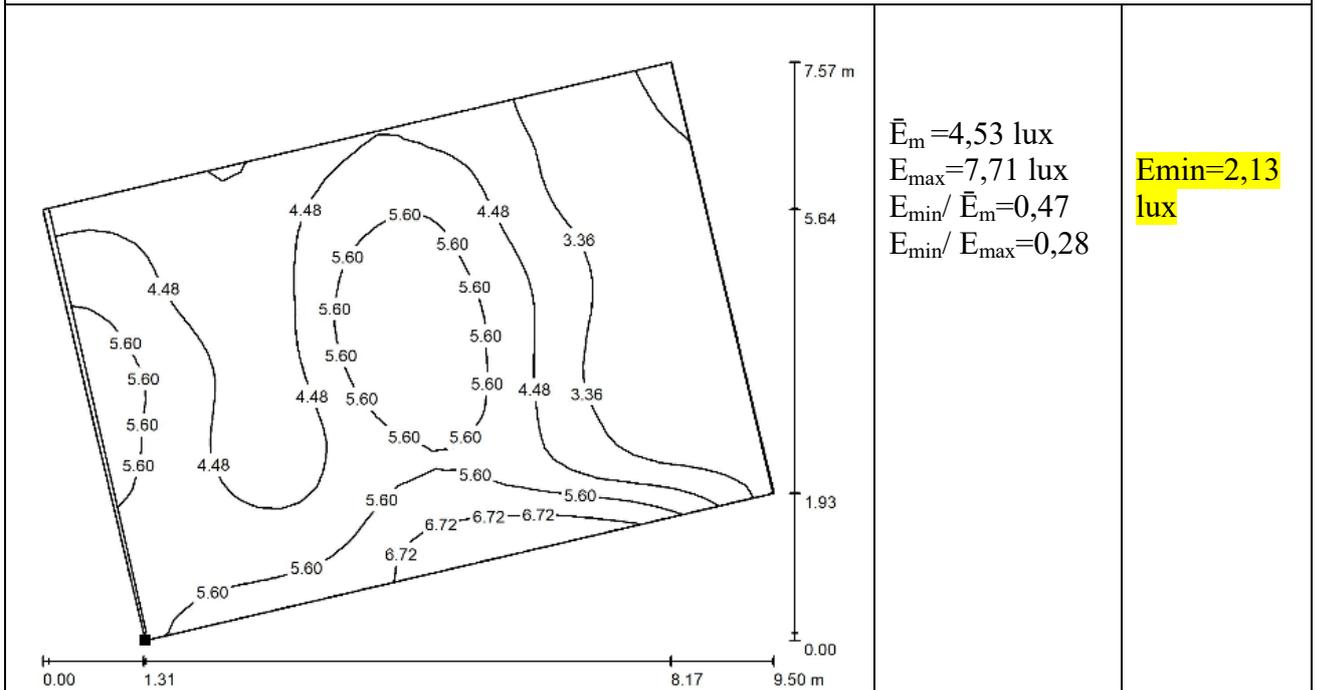
Anche in questo caso si tratta di un punto che deve essere caratterizzato rispetto al resto degli ambienti circostanti poiché tramite questo passaggio si accede all'edificio della segreteria didattica ed inoltre nei paraggi vi è la presenza di uno sportello bancomat. Perciò i requisiti minimi da rispettare risultano:

$\bar{E}_m > 10 \text{ lux}$   $E_{\min} > 2 \text{ lux}$   $E_{sc,\min} > 2 \text{ lux}$ , secondo la categoria P2 della norma EN13201-2

illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo PE (h.0 m dal pavimento)  
RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE



illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo PE (h.1.50 m dal pavimento)  
RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE



**Tabella 67**-soline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica PE

<p>illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>M</b> (h.0,30 m dal pavimento)  RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		
	$E_{min}=10$ lux $E_{max}=14$ lux $E_{min}/\bar{E}_m=0,85$ $E_{min}/E_{max}=0,71$	$\bar{E}_m=12$ lux
<p>illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>M</b> (h.1.50 m dal pavimento)  RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		
	$\bar{E}_m=5,41$ lux $E_{max}=8,49$ lux $E_{min}/\bar{E}_m=0,40$ $E_{min}/E_{max}=0,26$	$E_{min}=2,18$ lux

**Tabella 68**-Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica M

<p>illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>CP</b> (h.0 m dal pavimento)  RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		
	$E_{min}=5,72$ lux $E_{max}=16$ lux $E_{min}/\bar{E}_m=0,45$ $E_{min}/E_{max}=0,35$	$\bar{E}_m=13$ lux
<p>illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>CP</b> (h.1.50 m dal pavimento)  RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		
	$\bar{E}_m=8,41$ lux $E_{max}=12$ lux $E_{min}/\bar{E}_m=0,38$ $E_{min}/E_{max}=0,26$	$E_{min}=3,18$ lux

**Tabella 69**-Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica CP

## ZONA 5: Viale Valluri

### 5.1-Area ciclopedonale

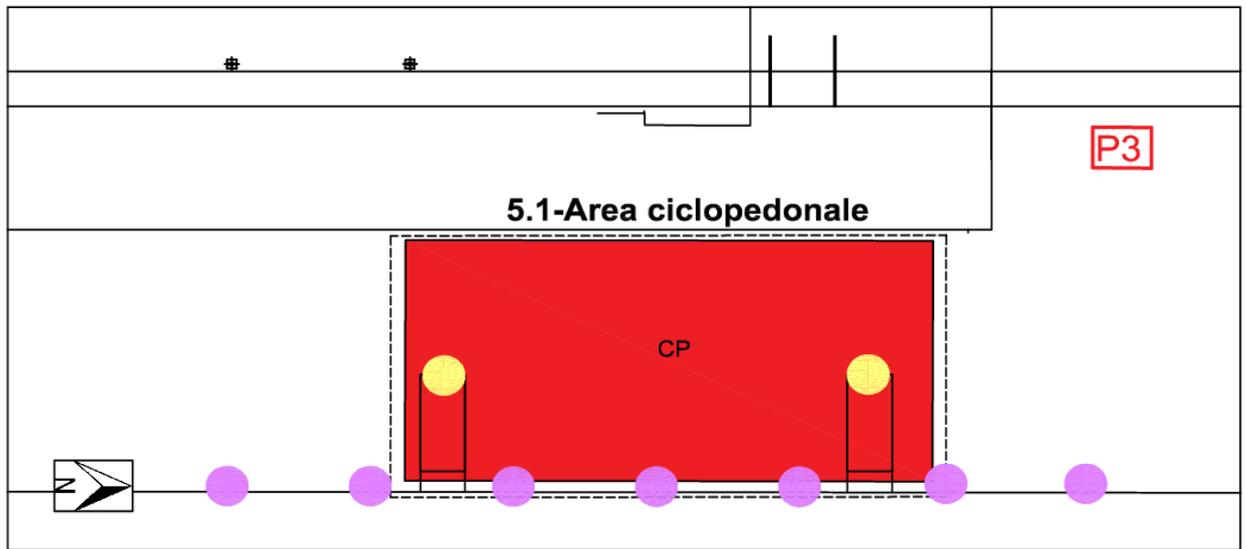


Figura 54- Individuazione superfici di calcolo per la Zona 5.1

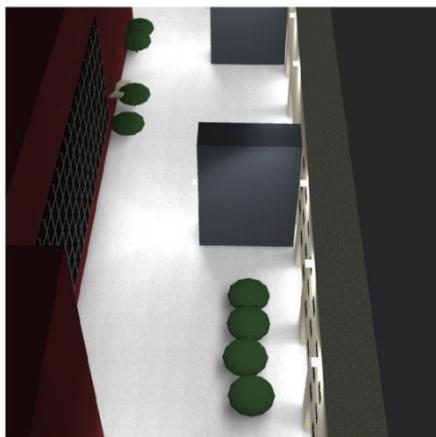


Figura 55- Rendering 3D della Zona 5.1

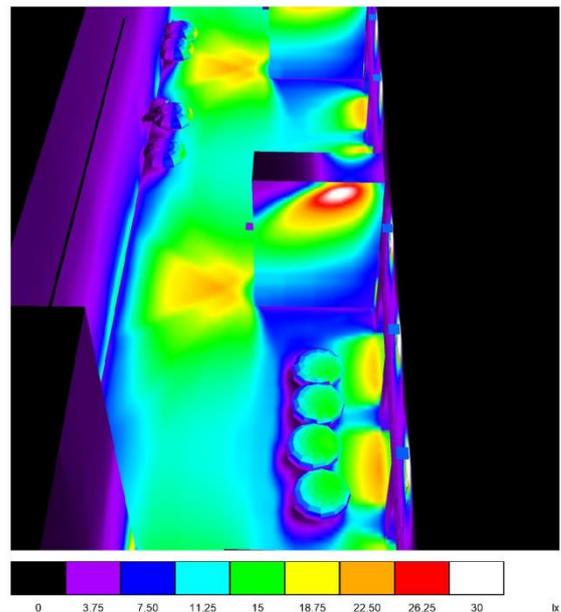


Figura56- Rendering false color della Zona 5.1

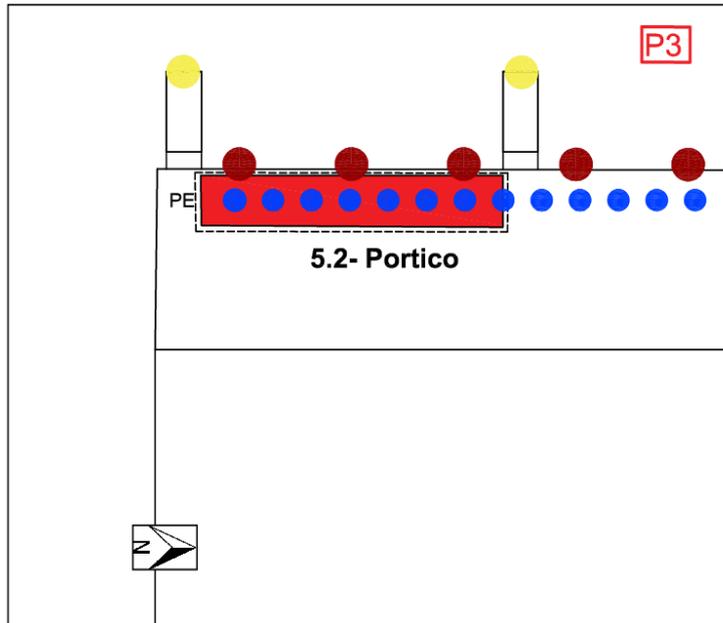
### Categoria illuminotecnica-PEDONALE: P3

$\bar{E}_m > 7,5 \text{ lux}$	$E_{\min} > 1,5 \text{ lux}$	$E_{\text{sc},\min} > 1,5 \text{ lux}$	<b>Normativa UNI EN 13201-2:2016</b>
-------------------------------	------------------------------	--	--------------------------------------

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo CP (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$E_{\min}=5,83 \text{ lux}$ $E_{\max}=23 \text{ lux}$ $E_{\min}/\bar{E}_m=0,44$ $E_{\min}/E_{\max}=0,25$	$\bar{E}_m=13 \text{ lux}$
Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo CP (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$\bar{E}_m=7,30 \text{ lux}$ $E_{\max}=15 \text{ lux}$ $E_{\min}/\bar{E}_m=0,36$ $E_{\min}/E_{\max}=0,18$	$E_{\min}=2,62 \text{ lux}$

**Tabella 70-**Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica CP

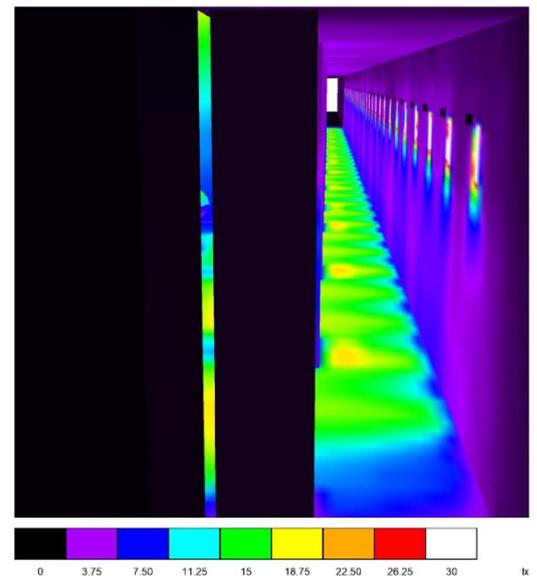
## 5.2-Portico



**Figura 57-** Individuazione superfici di calcolo per la Zona 5.2



**Figura 58-** Rendering 3D della Zona 5.2



**Figura 59-** Rendering false color della Zona

5.2

### Categoria illuminotecnica-PEDONALE: P3

$\bar{E}_m > 7,5 \text{ lux}$	$E_{\min} > 1,5 \text{ lux}$	$E_{sc,\min} > 1,5 \text{ lux}$	<b>Normativa UNI EN 13201-2:2016</b>
-------------------------------	------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------

Visto l'importanza del luogo, utilizzato sia per accedere ai laboratori che come transito dei pedoni in particolare in condizioni di mal tempo, i requisiti minimi da rispettare sono da considerarsi quelli della categoria illuminotecnica P2:

$\bar{E}_m > 10 \text{ lux}$   $E_{\min} > 2 \text{ lux}$   $E_{sc,\min} > 2 \text{ lux}$ , secondo la categoria P2 della norma EN13201-2

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo PE (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$E_{\min}=8,07 \text{ lux}$ $E_{\max}=19 \text{ lux}$ $E_{\min}/\bar{E}_m=0,57$ $E_{\min}/E_{\max}=0,43$	$\bar{E}_m=14 \text{ lux}$
Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo PE (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$\bar{E}_m=7,55 \text{ lux}$ $E_{\max}=12 \text{ lux}$ $E_{\min}/\bar{E}_m=0,40$ $E_{\min}/E_{\max}=0,26$	$E_{\min}=3,05 \text{ lux}$

**Tabella 71**-Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica CP

### 5.3-Ingresso C.so Castelfidardo

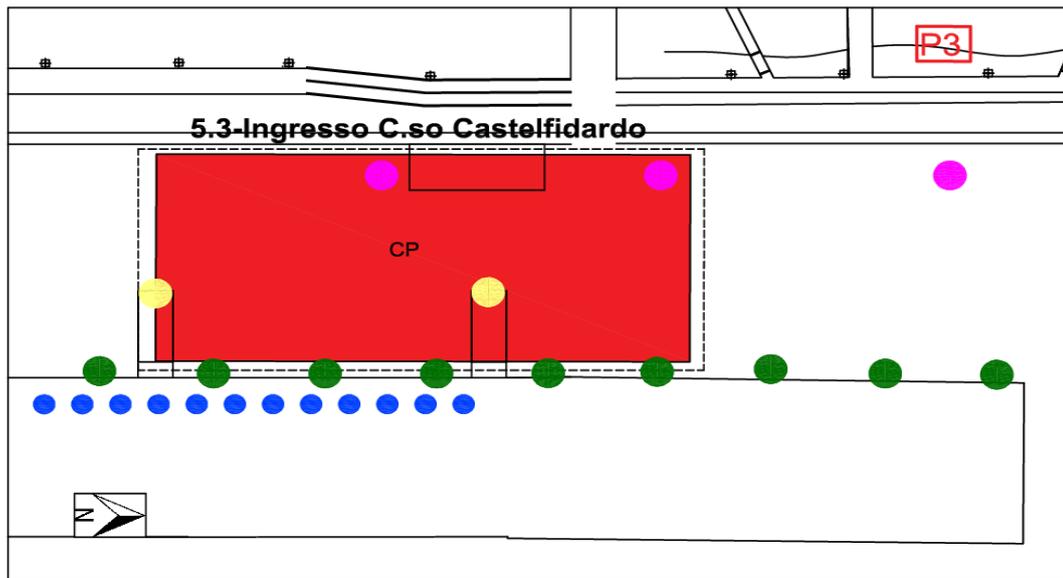


Figura 60- Individuazione superfici di calcolo per la Zona 5.3



Figura 61- Rendering 3D della Zona 5.3

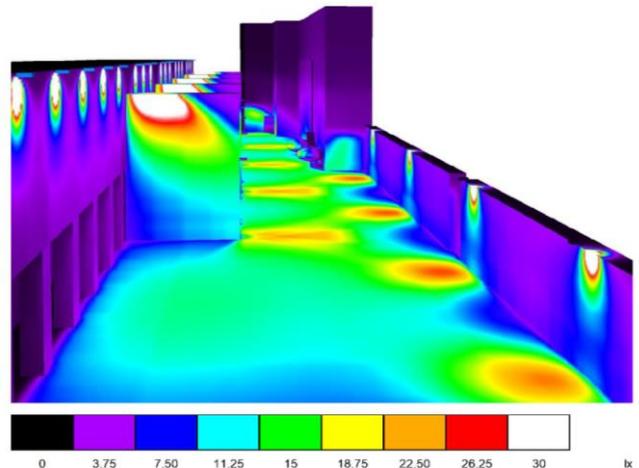


Figura 62- Rendering false color della Zona 5.3

#### Categoria illuminotecnica-PEDONALE: P3

$\bar{E}_m > 7,5 \text{ lux}$	$E_{\min} > 1,5 \text{ lux}$	$E_{sc,\min} > 1,5 \text{ lux}$	<b>Normativa UNI EN 13201-2:2016</b>
-------------------------------	------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------

I requisiti minimi da rispettare risultano maggiori rispetto a quelli della categoria P3 poiché si vuole sottolineare l'importanza dei due accessi da Corso Castelfidardo. Anche in questo caso ci si riferisce ai valori della classe illuminotecnica P2:

$\bar{E}_m > 10 \text{ lux}$   $E_{\min} > 2 \text{ lux}$   $E_{sc,\min} > 2 \text{ lux}$  , secondo la categoria P2 della norma EN13201-2

<b>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo CP (h.0 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$E_{min}=2,02 \text{ lux}$ $E_{max}=25 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,30$ $E_{min}/E_{max}=0,08$	$\bar{E}_m=16 \text{ lux}$
<b>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo CP (h.1.50 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$\bar{E}_m=11 \text{ lux}$ $E_{max}=17 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,45$ $E_{min}/E_{max}=0,27$	$E_{min}=4,8 \text{ lux}$

**Tabella 72-**Isoline e risultati della simulazione illuminotecnica per la superficie di calcolo perpendicolare e semicilindrica CP

Come si nota dalle tabelle i requisiti minimi vengono sempre rispettati e in linea generale i valori corrispondenti agli illuminamenti medi, minimi e massimi sono stati ovunque limitati rispetto allo stato di fatto. Unico punto di criticità è stato riscontrato per la superficie di calcolo S1 nella zona 3.3 di Viale Guidi in cui i valori di illuminamento orizzontale  $\bar{E}_m$  e di illuminamento semicilindrico  $E_{min}$  sono leggermente al di sotto dei valori imposti dalla normativa di riferimento. Ciò è dovuto alla posizione sfavorevole della superficie di calcolo rispetto alle superfici S2 e S3 che sono esemplificative della struttura a scale presente in questa area. Se si tiene conto dello scarto di pochi centesimi rispetto ai valori dei requisiti minimi, tale situazione può essere comunque accettata.

Le scelte progettuali adottate permettono inoltre, di illuminare le aree di interesse in modo efficace e con buoni rapporti di uniformità ( $E_{min}/\bar{E}_m$ ). Ciò risulta ben evidente dalle immagini in colori sfalsati dell'illuminamento riportate per ogni zona, in cui non sono presenti ambienti fortemente illuminati contrapposti a zone in ombra. Bensì la distribuzione della luce è uniforme e mai sovrabbondante al fine sia di garantire il confort degli utenti, che di rispettare le esigenze di riduzione del flusso luminoso emesso nell'ottica di una diminuzione dei costi per l'energia elettrica.

### 4.3 Analisi energetica

L'analisi energetica è stata condotta prendendo in considerazione gli orari di accensione e spegnimento utilizzati da Iren per l'illuminazione pubblica a Torino nel 2017. Tali profili orari sono stati considerati come base di partenza per il calcolo delle ore di accensione degli impianti al 100% della potenza, secondo il profilo di regolazione precedentemente citato nel capitolo 4.2 e di cui se ne riporta la schematizzazione:

#### Apparecchi per l'illuminazione generale:

-Accensione - h 21:00 → 100%

-h 21:00 – 24:00 → 70%

-h 24:00- 5:00 → 50%

-h 5:00 –Spegnimento → 100%

Le ore 5:00 sono state considerate come l'orario in cui l'impianto di illuminazione giornaliera interna dei vari edifici si riaccende e per cui si prevede il settaggio della degli impianti esterni nuovamente al 100% della potenza.

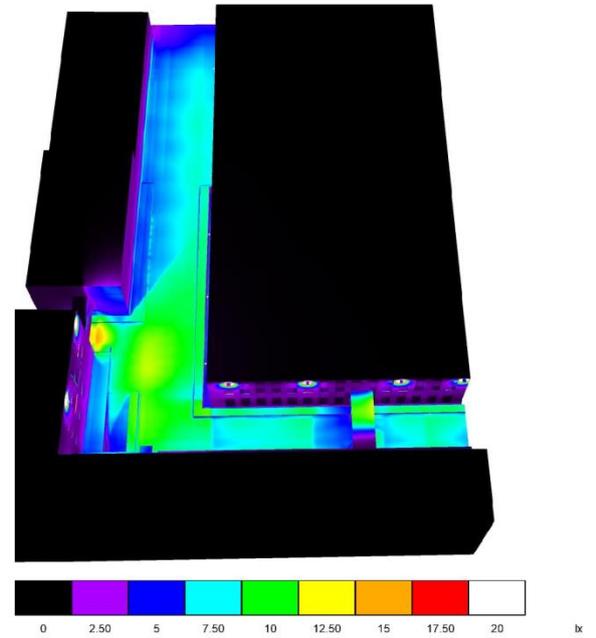
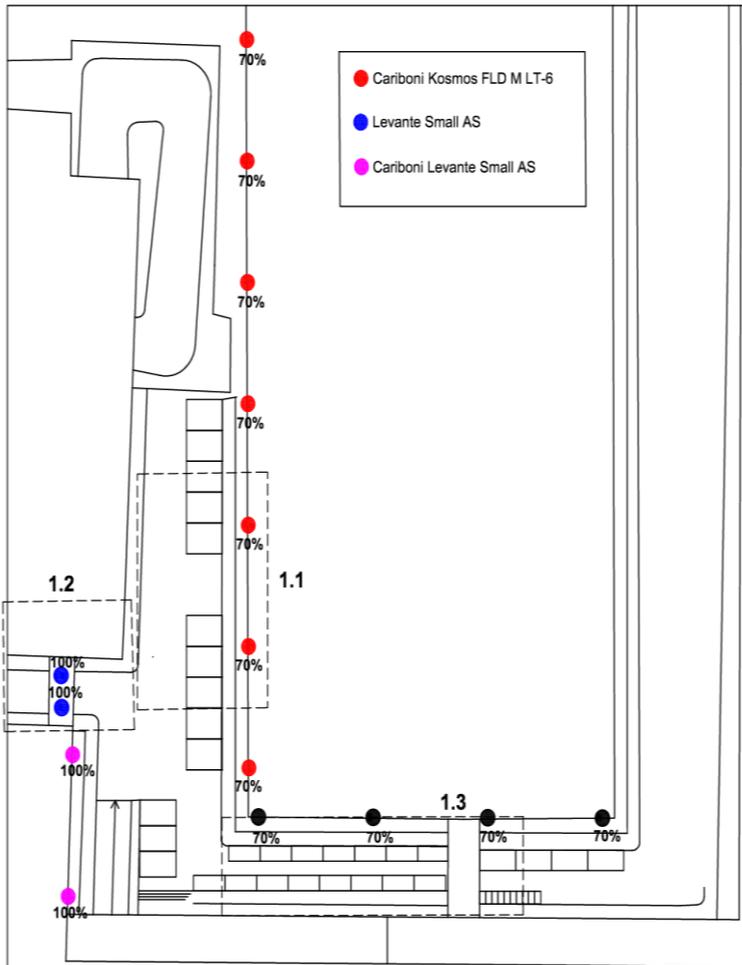
#### Apparecchi per l'illuminazione funzionale:

Mantenuti al 100% della potenza per tutto il periodo di illuminazione.

Per effettuare i calcoli illuminotecnici nel caso venga attuata la regolazione prevista, in DIALux sono stati dapprima suddivisi i vari apparecchi nei "gruppi di controllo" 100, 70 e 50 in base alle scelte effettuate in fase di progettazione e poi sono state create le diverse "scene di luce" in cui i gruppi di controllo sono stati inseriti.

Si riportano i risultati illuminotecnici delle varie zone analizzate per quanto riguarda la regolazione al 70% della potenza. Si specifica che le superfici di calcolo adottate sono le stesse del caso senza regolazione( cioè al 100% di potenza) trattato nel capitolo 4.1, mentre le % di regolazione vengono riportate per ogni apparecchio. Inoltre si specifica che in tutte le tabelle che seguono, sono state riportate le immagini con le curve Isolux per la distribuzione luminosa delle superficie di calcolo e i relativi valori di illuminamento medio, minimo ,massimo e del rapporto di uniformità, ottenuti dai calcoli:

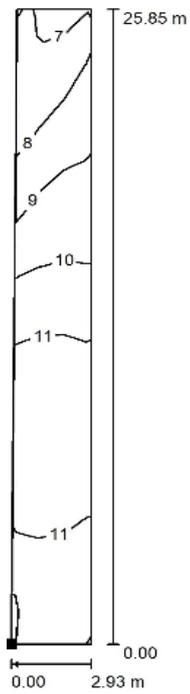
# ZONA 1: Viale Panetti



1.1-Lato ingresso C.so Einaudi

<p>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <math>M_1</math> (h.0.30 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>			<p>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <math>M_1</math> (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		
	<p><math>E_{min}=7,53</math> lux <math>E_{max}=11</math> lux <math>E_{min}/\bar{E}_m=0,83</math> <math>E_{min}/E_{max}=0,69</math></p>	<p><math>\bar{E}_m=9,05</math> lux</p>		<p><math>\bar{E}_m=5,21</math> lux <math>E_{max}=7,08</math> lux <math>E_{min}/\bar{E}_m=0,68</math> <math>E_{min}/E_{max}=0,50</math></p>	<p><math>E_{min}=3,54</math> lux</p>
<p>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <math>P_1</math> (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>			<p>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <math>P_1</math> (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		
	<p><math>E_{min}=6,36</math> lux <math>E_{max}=8,45</math> lux <math>E_{min}/\bar{E}_m=0,69</math> <math>E_{min}/E_{max}=0,54</math></p>	<p><math>\bar{E}_m=8,77</math> lux</p>		<p><math>\bar{E}_m=6,64</math> lux <math>E_{max}=7,08</math> lux <math>E_{min}/\bar{E}_m=0,68</math> <math>E_{min}/E_{max}=0,50</math></p>	<p><math>E_{min}=4,59</math> lux</p>

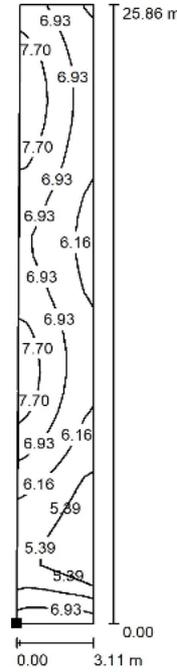
**Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo P<sub>2</sub>**  
**(h.0 m dal pavimento)**  
**RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE**



$E_{min}=6,80$  lux  
 $E_{max}=12$  lux  
 $E_{min}/\bar{E}_m=0,68$   
 $E_{min}/E_{max}=0,58$

$\bar{E}_m=9,99$  lux

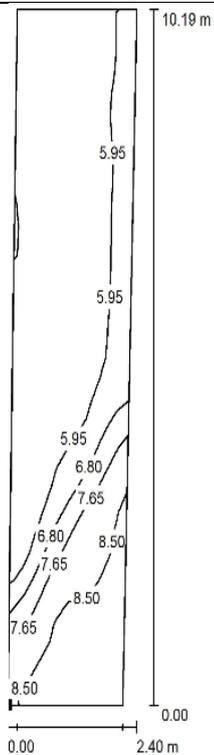
**Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo P<sub>2</sub>**  
**(h.1.50 m dal pavimento)**  
**RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE**



$\bar{E}_m=7,70$  lux  
 $E_{max}=9,50$  lux  
 $E_{min}/\bar{E}_m=0,77$   
 $E_{min}/E_{max}=0,62$

$E_{min}=5,91$  lux

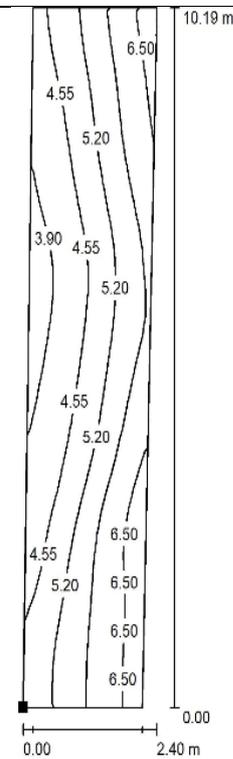
**Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo M<sub>2</sub>**  
**(h.0.30 m dal pavimento)**  
**RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE**



$E_{min}=5,07$  lux  
 $E_{max}=9,31$  lux  
 $E_{min}/\bar{E}_m=0,78$   
 $E_{min}/E_{max}=0,55$

$\bar{E}_m=6,49$  lux

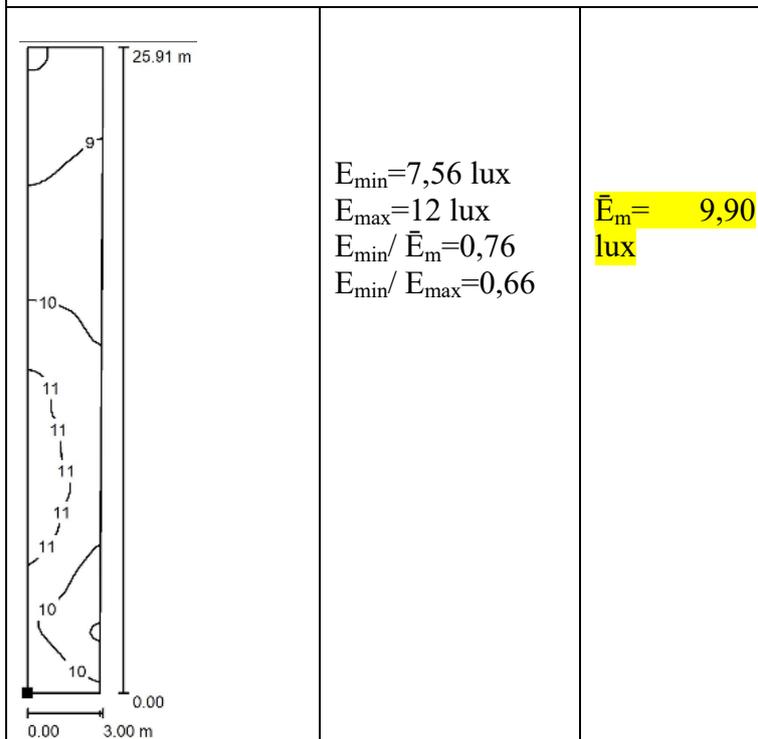
**Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo M<sub>2</sub>**  
**(h.1.50 m dal pavimento)**  
**RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE**



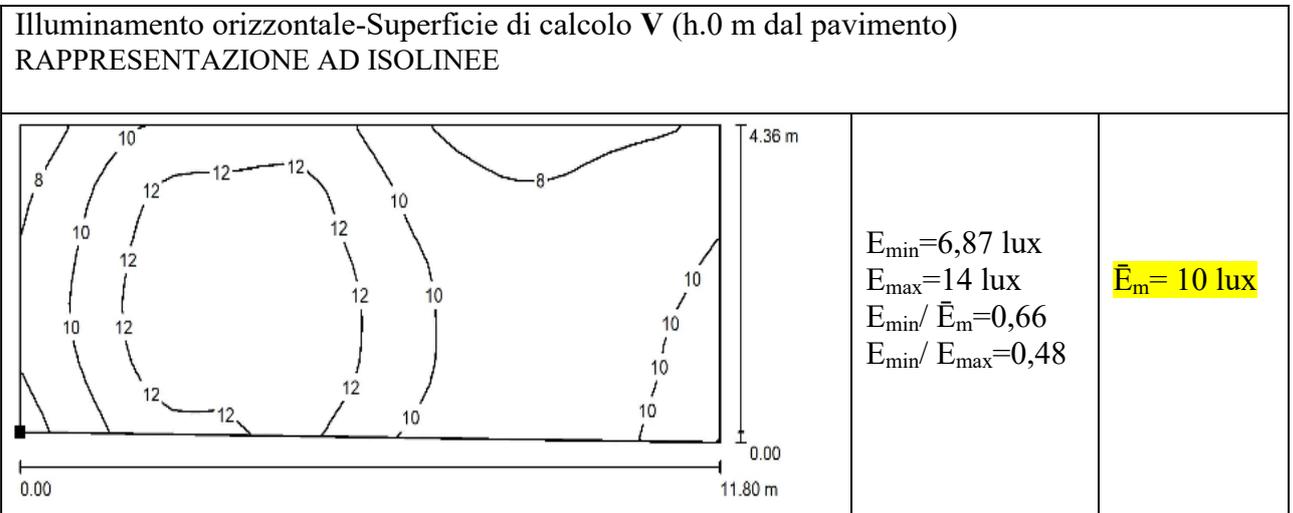
$\bar{E}_m=5,24$  lux  
 $E_{max}=6,89$  lux  
 $E_{min}/\bar{E}_m=0,69$   
 $E_{min}/E_{max}=0,53$

$E_{min}=3,63$  lux

**Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo V**  
 (h.0 m dal pavimento)  
**RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE**



1.2- Ingresso C.so Einaudi



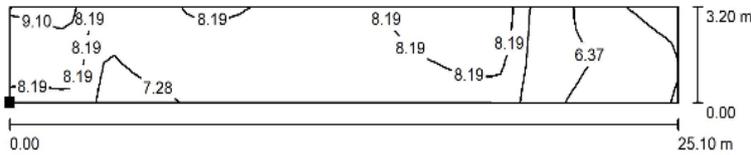
<b>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo M (h.0.30 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$E_{min}=5,92 \text{ lux}$ $E_{max}=14 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,59$ $E_{min}/E_{max}=0,43$	$\bar{E}_m=10 \text{ lux}$
<b>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo M (h.1.50 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$\bar{E}_m=4,03 \text{ lux}$ $E_{max}=5,99 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,74$ $E_{min}/E_{max}=0,50$	$E_{min}=2,99 \text{ lux}$

### 1.3- Lato ingresso laboratori

<b>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo M<sub>1</sub> (h.0.30 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$E_{min}=4,64 \text{ lux}$ $E_{max}=11 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,56$ $E_{min}/E_{max}=0,43$	$\bar{E}_m=8,23 \text{ lux}$
<b>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo M<sub>1</sub> (h.1.50 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$\bar{E}_m=3,73 \text{ lux}$ $E_{max}=5,01 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,49$ $E_{min}/E_{max}=0,36$	$E_{min}=1,82 \text{ lux}$

<b>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo P<sub>1</sub> (h.0 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$E_{min}=4,32 \text{ lux}$ $E_{max}=9,74 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,58$ $E_{min}/E_{max}=0,45$	$\bar{E}_m=7,42 \text{ lux}$
<b>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo P<sub>1</sub> (h.1.50 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$\bar{E}_m=4,64 \text{ lux}$ $E_{max}=7,10 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,38$ $E_{min}/E_{max}=0,25$	$E_{min}=1,77 \text{ lux}$

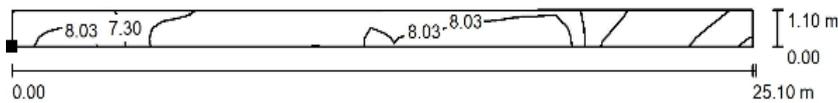
Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo **V** (h.0 m dal pavimento)  
RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE



$E_{\min}=4,89$  lux  
 $E_{\max}=9,41$  lux  
 $E_{\min}/\bar{E}_m=0,64$   
 $E_{\min}/E_{\max}=0,52$

$\bar{E}_m = 7,58$   
lux

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo **P<sub>2</sub>** (h.0 m dal pavimento)  
RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE



$E_{\min}=5,05$  lux  
 $E_{\max}=8,68$  lux  
 $E_{\min}/\bar{E}_m=0,68$   
 $E_{\min}/E_{\max}=0,58$

$\bar{E}_m = 7,45$   
lux

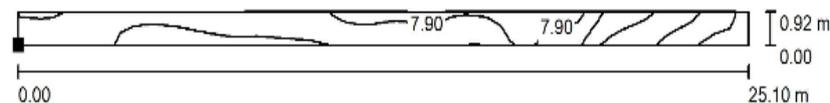
Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo **P<sub>2</sub>** (h.1.50 m dal pavimento)  
RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE



$\bar{E}_m = 5,12$  lux  
 $E_{\max}=6,54$  lux  
 $E_{\min}/\bar{E}_m=0,43$   
 $E_{\min}/E_{\max}=0,35$

$E_{\min}=2,32$   
lux

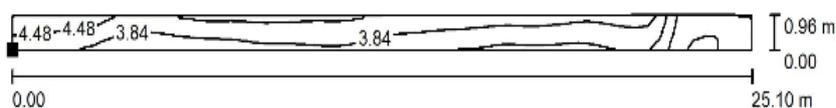
Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo **M<sub>2</sub>** (h.0.30 m dal pavimento)  
RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE



$E_{\min}=4,48$  lux  
 $E_{\max}=8,45$  lux  
 $E_{\min}/\bar{E}_m=0,63$   
 $E_{\min}/E_{\max}=0,53$

$\bar{E}_m = 7,15$   
lux

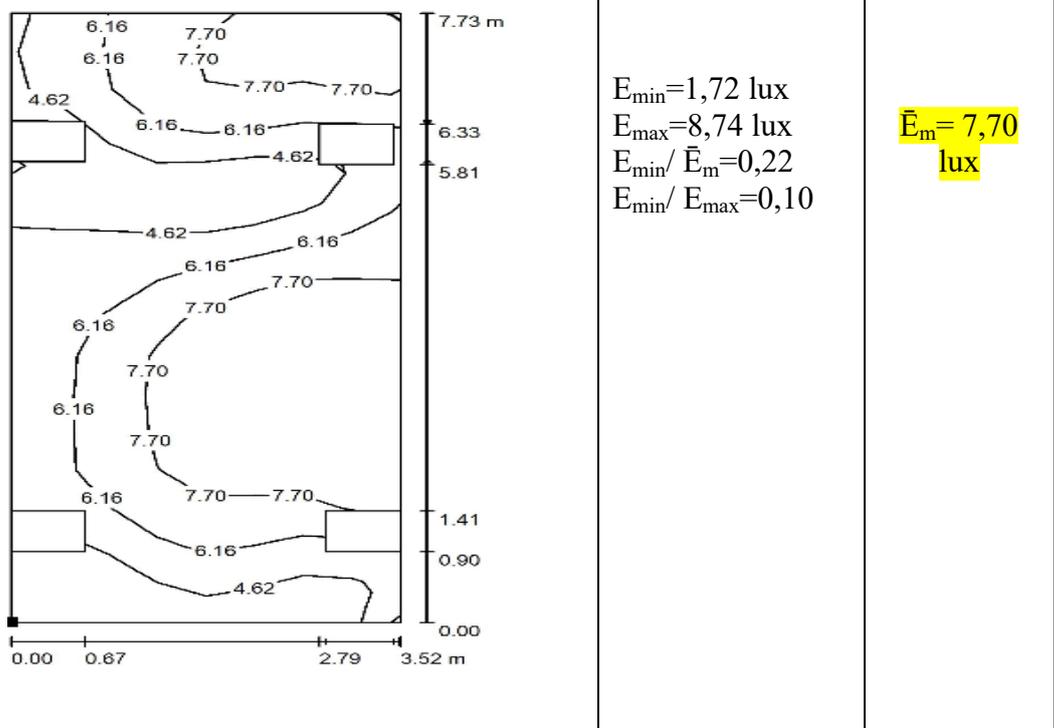
Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo **M<sub>2</sub>** (h.1.50 m dal pavimento)  
RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE



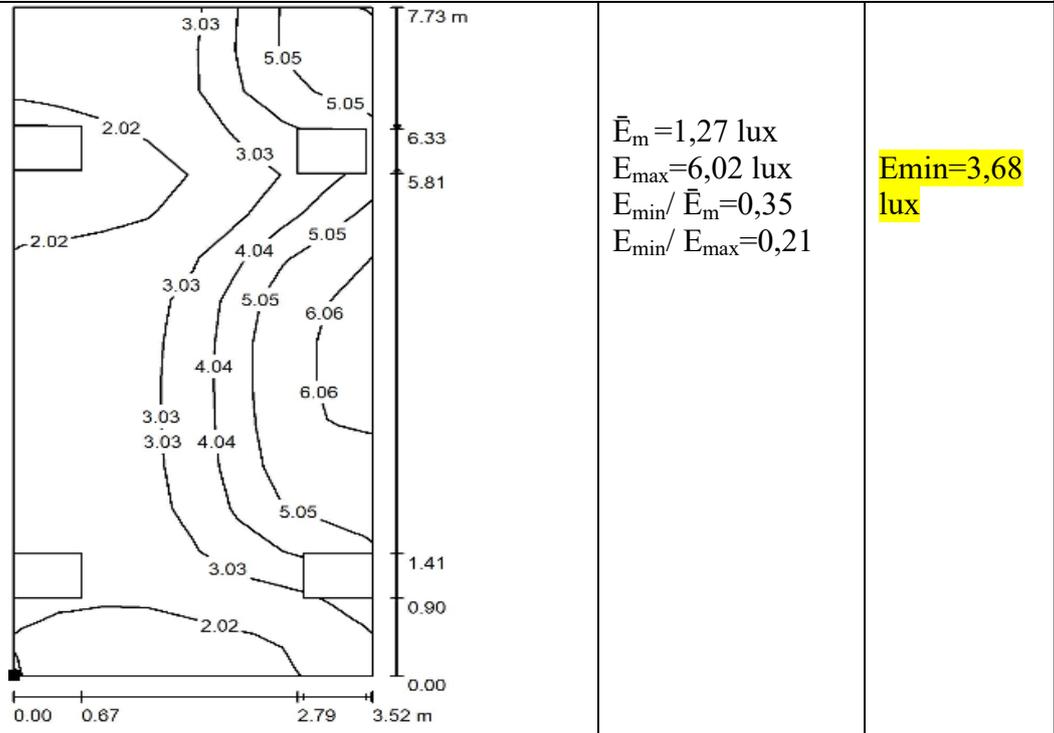
$\bar{E}_m = 3,73$  lux  
 $E_{\max}=5,01$  lux  
 $E_{\min}/\bar{E}_m=0,49$   
 $E_{\min}/E_{\max}=0,36$

$E_{\min}=1,81$   
lux

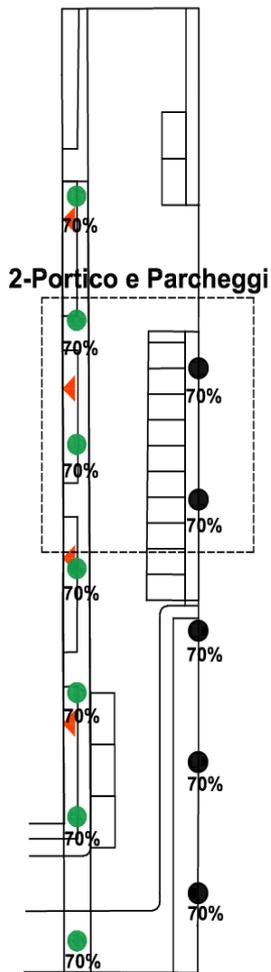
**illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo CP (h.0 m dal pavimento)**  
**RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE**



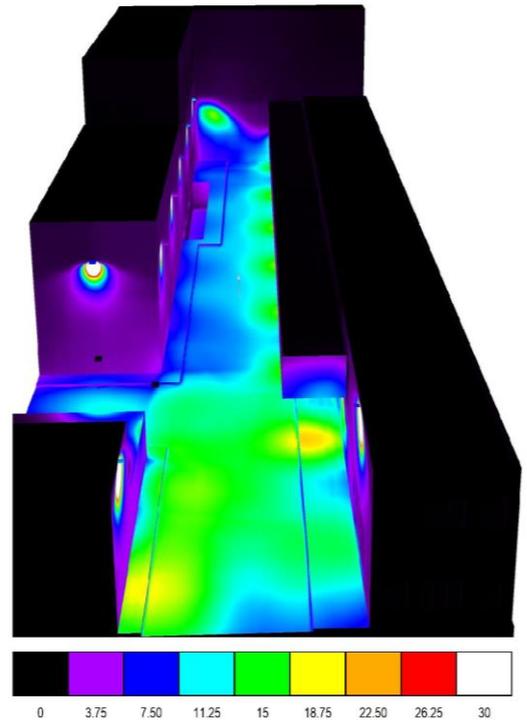
**illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo CP (h.1.50 m dal pavimento)**  
**RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE**



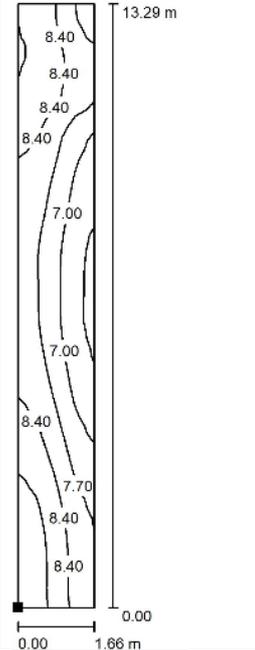
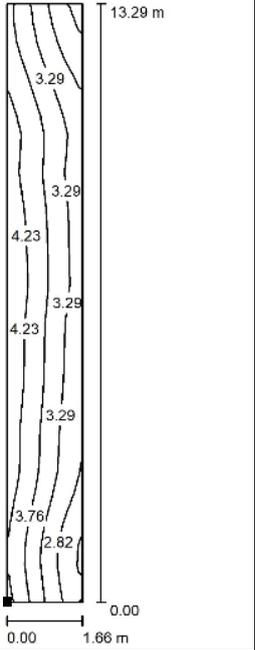
## ZONA 2: Viale Castigliano

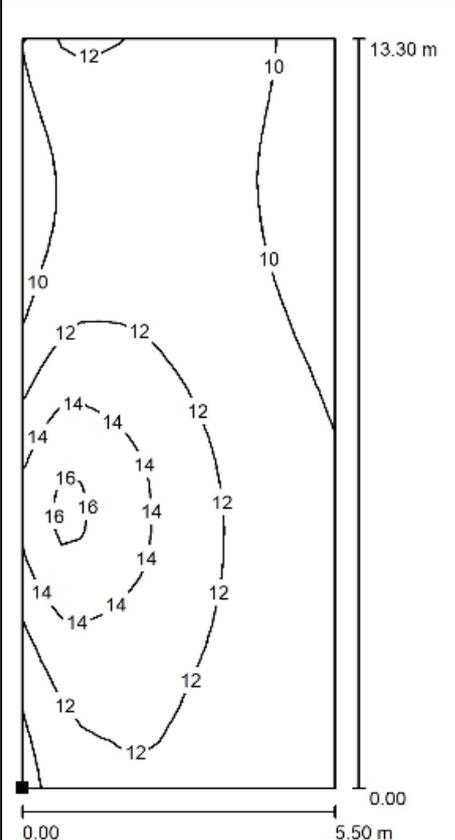


- ◀ Ingresso laboratorio
- Schreder CMS mini 5068 SY
- Schreder CMS mini 5139

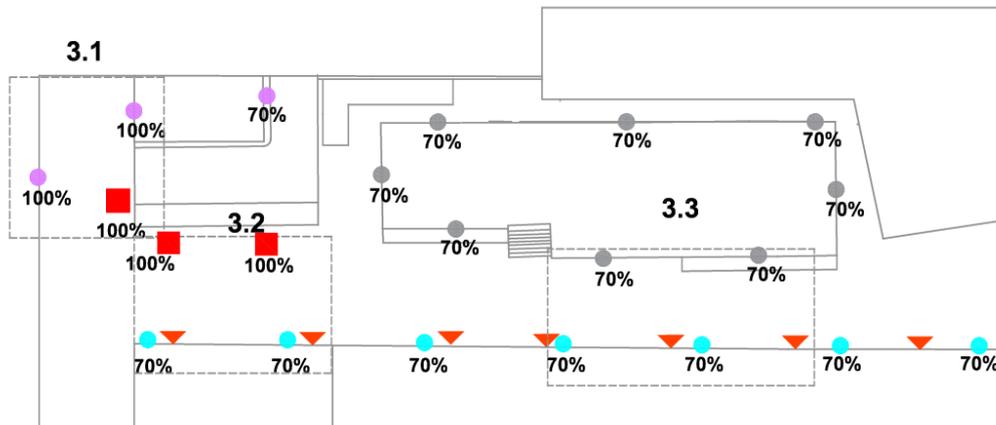


<p> <b>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo M<sub>1</sub></b>  <b>(h.0,30 m dal pavimento)</b>  <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b> </p>	<p> <b>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo M<sub>1</sub></b>  <b>(h.1,50 m dal pavimento)</b>  <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b> </p>	
	<p> <math>E_{min}=7,90 \text{ lux}</math>  <math>E_{max}=19 \text{ lux}</math>  <math>E_{min}/\bar{E}_m=0,66</math>  <math>E_{min}/E_{max}=0,42</math> </p>	<p> <math>\bar{E}_m=12 \text{ lux}</math> </p>
	<p> <math>\bar{E}_m=8,69 \text{ lux}</math>  <math>E_{max}=13 \text{ lux}</math>  <math>E_{min}/\bar{E}_m=0,54</math>  <math>E_{min}/E_{max}=0,37</math> </p>	<p> <math>E_{min}=4,73 \text{ lux}</math> </p>
<p> <b>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo P</b>  <b>(h.0 m dal pavimento)</b>  <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b> </p>	<p> <b>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo P</b>  <b>(h.1,50 m dal pavimento)</b>  <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b> </p>	
	<p> <math>E_{min}=6,27 \text{ lux}</math>  <math>E_{max}=10 \text{ lux}</math>  <math>E_{min}/\bar{E}_m=0,68</math>  <math>E_{min}/E_{max}=0,60</math> </p>	<p> <math>\bar{E}_m=9,22 \text{ lux}</math> </p>
	<p> <math>\bar{E}_m=7,19 \text{ lux}</math>  <math>E_{max}=9,27 \text{ lux}</math>  <math>E_{min}/\bar{E}_m=0,68</math>  <math>E_{min}/E_{max}=0,52</math> </p>	<p> <math>E_{min}=4,86 \text{ lux}</math> </p>

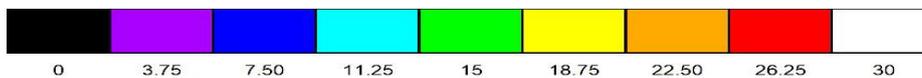
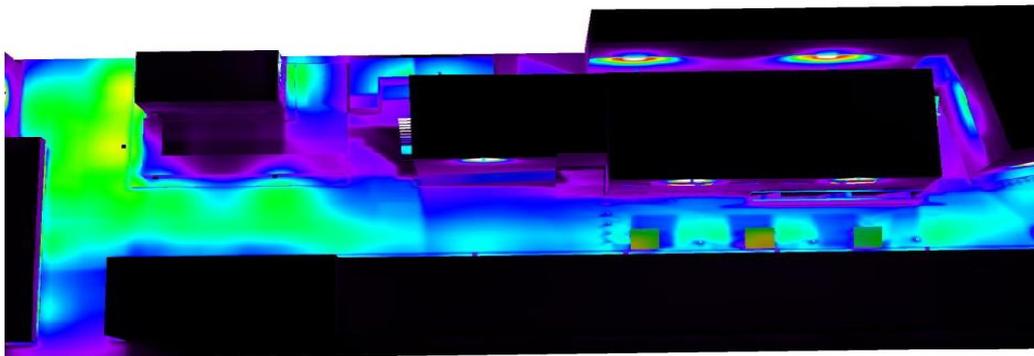
Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo $M_2$ (h.0,30 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE	Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo $M_2$ (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE				
	$E_{min}=6,07 \text{ lux}$ $E_{max}=9,60 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,77$ $E_{min}/E_{max}=0,63$	$\bar{E}_m=7,91$ <b>lux</b>	 <td data-bbox="1043 315 1291 965"> <math>\bar{E}_m=3,57 \text{ lux}</math>  <math>E_{max}=4,62 \text{ lux}</math>  <math>E_{min}/\bar{E}_m=0,63</math>  <math>E_{min}/E_{max}=0,49</math> </td> <td data-bbox="1291 315 1513 965"> <b>E<sub>min</sub>=2,25 lux</b> </td>	$\bar{E}_m=3,57 \text{ lux}$ $E_{max}=4,62 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,63$ $E_{min}/E_{max}=0,49$	<b>E<sub>min</sub>=2,25 lux</b>

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo $V$ (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$E_{min}=8,49 \text{ lux}$ $E_{max}=17 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,73$ $E_{min}/E_{max}=0,49$	$\bar{E}_m=12 \text{ lux}$

## ZONA 3: Viale Guidi

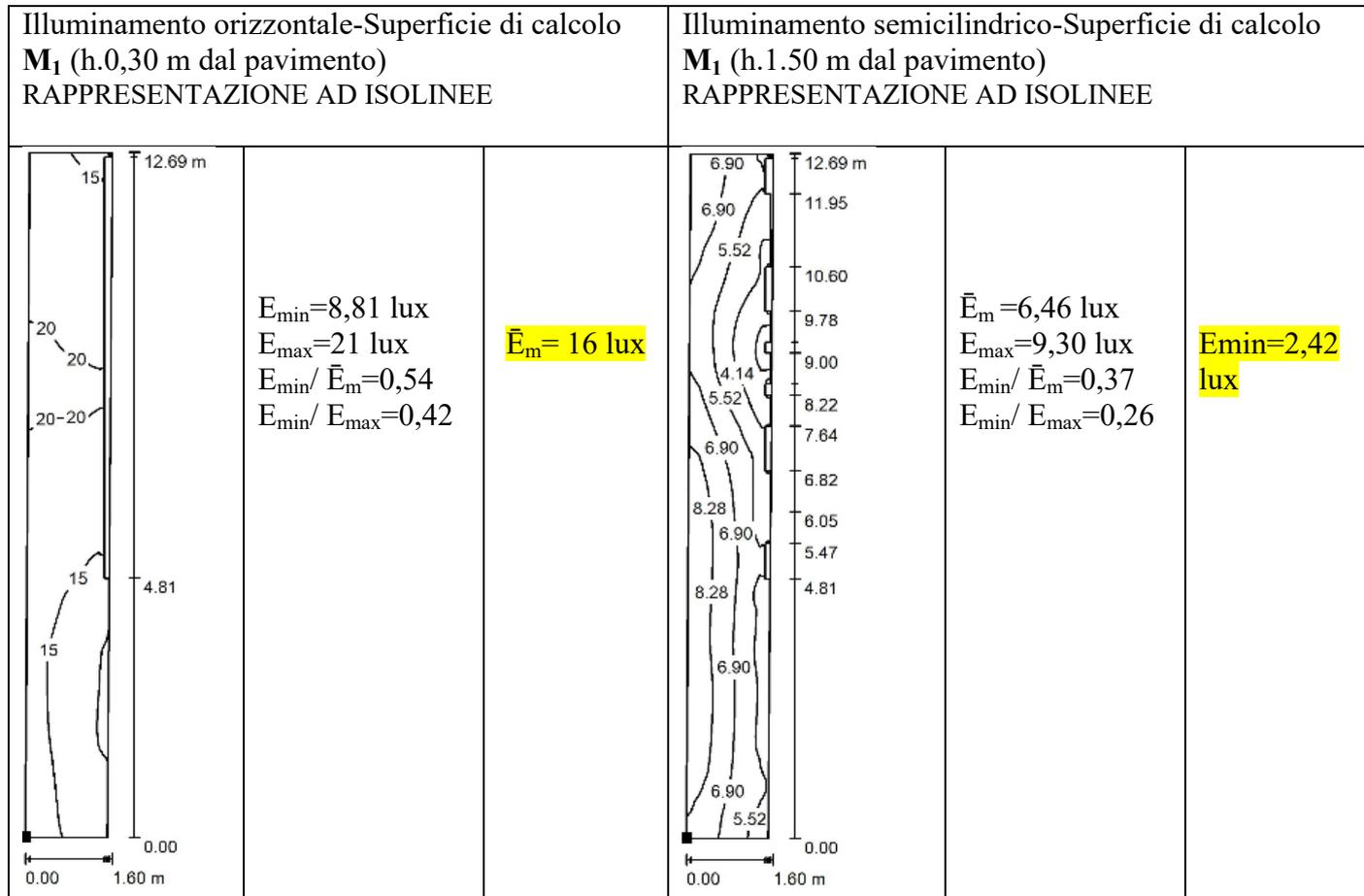
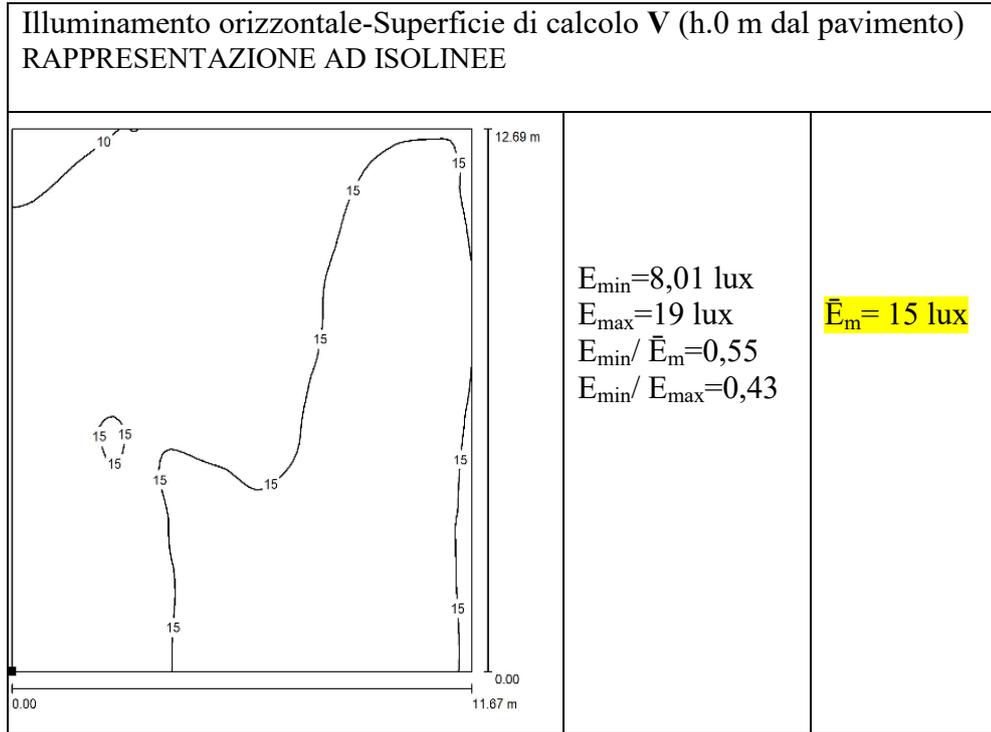


-  Ingresso laboratorio
-  Schreder CMS mini 5117
-  AEC Q-DROME STU-M
-  Schreder CMS mini 5137
-  AEC Q-DROME STU-S



lx

3.1- Asilo Nido/ Ingresso C.so Castelfidardo



### 3.2- Area parcheggi

<b>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <math>M_1</math> (h.0,30 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$E_{min}=4,84 \text{ lux}$ $E_{max}=16 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,49$ $E_{min}/E_{max}=0,30$	$\bar{E}_m=9,82 \text{ lux}$
<b>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <math>M_1</math> (h.1.50 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$\bar{E}_m=5,26 \text{ lux}$ $E_{max}=12 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,63$ $E_{min}/E_{max}=0,28$	$E_{min}=3,31 \text{ lux}$
<b>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <math>P_1</math> (h.0 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$E_{min}=7,01 \text{ lux}$ $E_{max}=16 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,58$ $E_{min}/E_{max}=0,45$	$\bar{E}_m=12 \text{ lux}$
<b>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <math>P_1</math> (h.1.50 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$\bar{E}_m=7,92 \text{ lux}$ $E_{max}=13 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,53$ $E_{min}/E_{max}=0,31$	$E_{min}=4,21 \text{ lux}$
<b>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <math>P_2</math> (h.0 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$E_{min}=6,19 \text{ lux}$ $E_{max}=13 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,59$ $E_{min}/E_{max}=0,46$	$\bar{E}_m=10 \text{ lux}$
<b>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <math>P_2</math> (h.1.50 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$\bar{E}_m=6,98 \text{ lux}$ $E_{max}=8,35 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,74$ $E_{min}/E_{max}=0,62$	$E_{min}=5,17 \text{ lux}$

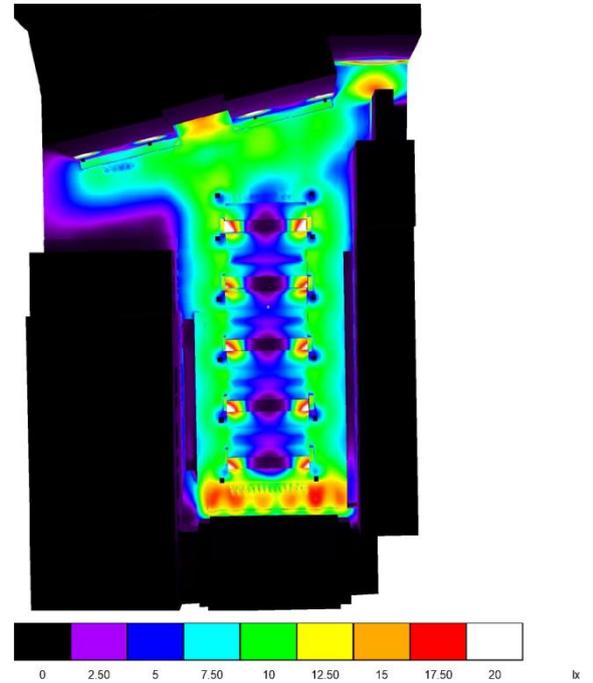
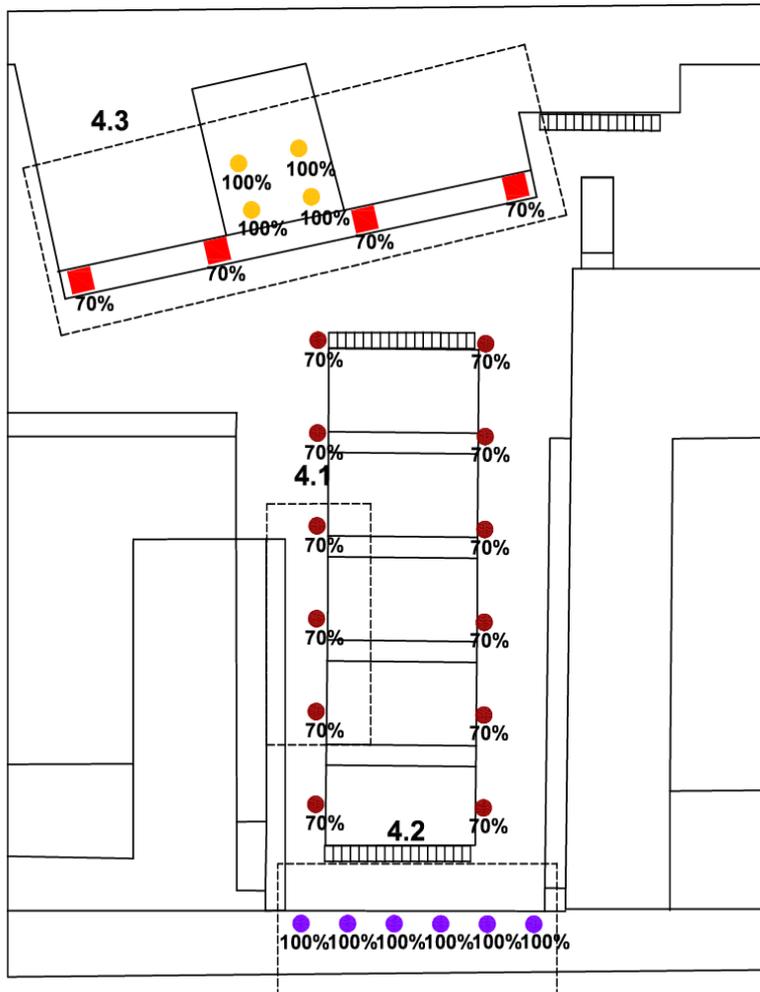
<b>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo V (h.0 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$E_{min}=9,92 \text{ lux}$ $E_{max}=15 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,76$ $E_{min}/E_{max}=0,67$	$\bar{E}_m=13 \text{ lux}$
<b>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo M<sub>2</sub> (h.0,30 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$E_{min}=5,99 \text{ lux}$ $E_{max}=12 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,71$ $E_{min}/E_{max}=0,51$	$\bar{E}_m=8,46 \text{ lux}$
<b>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo M<sub>2</sub> (h.1.50 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$\bar{E}_m=5,29 \text{ lux}$ $E_{max}=6,99 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,66$ $E_{min}/E_{max}=0,50$	$E_{min}=3,51 \text{ lux}$

### 3.3- Area ciclopedonale

<b>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo PE (h.0 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$E_{min}=2,77 \text{ lux}$ $E_{max}=13 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,29$ $E_{min}/E_{max}=0,21$	$\bar{E}_m=9,49 \text{ lux}$
<b>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo PE (h.1.50 m dal pavimento)</b> <b>RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</b>		
	$\bar{E}_m=4,80 \text{ lux}$ $E_{max}=7 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,52$ $E_{min}/E_{max}=0,36$	$E_{min}=2,51 \text{ lux}$

<p>illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>S1</b> (h.0,85 m dal pavimento)</p>	<p><math>\bar{E}_m = 7,08 \text{ lux}</math></p>	<p>illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>S1</b> (h.1.50 m dal pavimento)</p>	<p><math>E_{\min} = 1,14 \text{ lux}</math></p>
<p>illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>S2</b> (h.1,50 m dal pavimento)</p>	<p><math>\bar{E}_m = 7,53 \text{ lux}</math></p>	<p>illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>S2</b> (h.3,00 m dal pavimento)</p>	<p><math>E_{\min} = 1,35 \text{ lux}</math></p>
<p>illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>S3</b> (h.3,00 m dal pavimento)</p>	<p><math>\bar{E}_m = 11 \text{ lux}</math></p>	<p>illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>S3</b> (h.4,50 m dal pavimento)</p>	<p><math>E_{\min} = 1,55 \text{ lux}</math></p>

# ZONA 4: Piazzale Ferraris



#### 4.1-Corridoio laterale

<p>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>M</b> (h.0,15 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		<p>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>M</b> (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>			
	<p><math>E_{min}=6,99</math> lux <math>E_{max}=13</math> lux <math>E_{min}/\bar{E}_m=0,83</math> <math>E_{min}/E_{max}=0,53</math></p>	<p><math>\bar{E}_m = 8,39</math> lux</p>		<p><math>\bar{E}_m = 8,64</math> lux <math>E_{max}=9,92</math> lux <math>E_{min}/\bar{E}_m=0,86</math> <math>E_{min}/E_{max}=0,75</math></p>	<p><math>E_{min}=7,44</math> lux</p>
<p>Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>CP</b> (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		<p>Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>CP</b> (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>			
	<p><math>E_{min}=4,55</math> lux <math>E_{max}=14</math> lux <math>E_{min}/\bar{E}_m=0,50</math> <math>E_{min}/E_{max}=0,33</math></p>	<p><math>\bar{E}_m = 9,21</math> lux</p>		<p><math>\bar{E}_m = 7,17</math> lux <math>E_{max}=9,15</math> lux <math>E_{min}/\bar{E}_m=0,54</math> <math>E_{min}/E_{max}=0,42</math></p>	<p><math>E_{min}=3,84</math> lux</p>

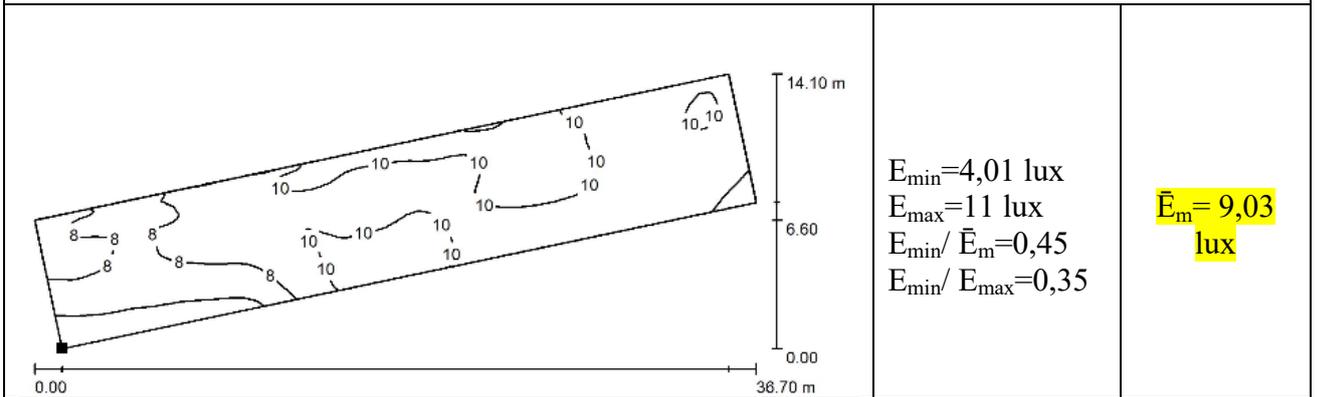
#### 4.2-Ingresso edificio principale

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>M</b> (h.0,15 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$E_{min}=6,20 \text{ lux}$ $E_{max}=14 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,61$ $E_{min}/E_{max}=0,43$	$\bar{E}_m=10 \text{ lux}$
Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>M</b> (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$\bar{E}_m=4,14 \text{ lux}$ $E_{max}=6,52 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,62$ $E_{min}/E_{max}=0,40$	$E_{min}=2,56 \text{ lux}$
Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>CP</b> (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$E_{min}=8,62 \text{ lux}$ $E_{max}=17 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,61$ $E_{min}/E_{max}=0,51$	$\bar{E}_m=14 \text{ lux}$
Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>CP</b> (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$\bar{E}_m=6,07 \text{ lux}$ $E_{max}=10 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,54$ $E_{min}/E_{max}=0,33$	$E_{min}=3,28 \text{ lux}$

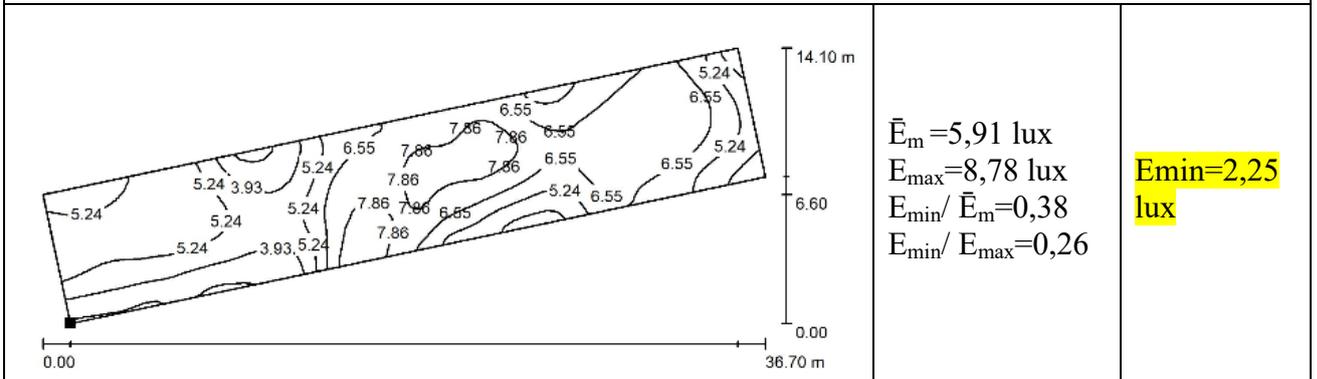
### 4.3-Ingresso segreteria

<p>illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>PE</b> (h.0 m dal pavimento)  RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		
	$E_{min}=5,37 \text{ lux}$ $E_{max}=17 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,45$ $E_{min}/E_{max}=0,33$	$\bar{E}_m=13 \text{ lux}$
<p>illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>PE</b> (h.1.50 m dal pavimento)  RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		
	$\bar{E}_m=5,06 \text{ lux}$ $E_{max}=6,23 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,47$ $E_{min}/E_{max}=0,31$	$E_{min}=2,00 \text{ lux}$
<p>illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>M</b> (h.0,30 m dal pavimento)  RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		
	$E_{min}=7,18 \text{ lux}$ $E_{max}=11 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,85$ $E_{min}/E_{max}=0,64$	$\bar{E}_m=8,45 \text{ lux}$
<p>illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>M</b> (h.1.50 m dal pavimento)  RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE</p>		
	$\bar{E}_m=3,81 \text{ lux}$ $E_{max}=5,96 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,41$ $E_{min}/E_{max}=0,26$	$E_{min}=2,05 \text{ lux}$

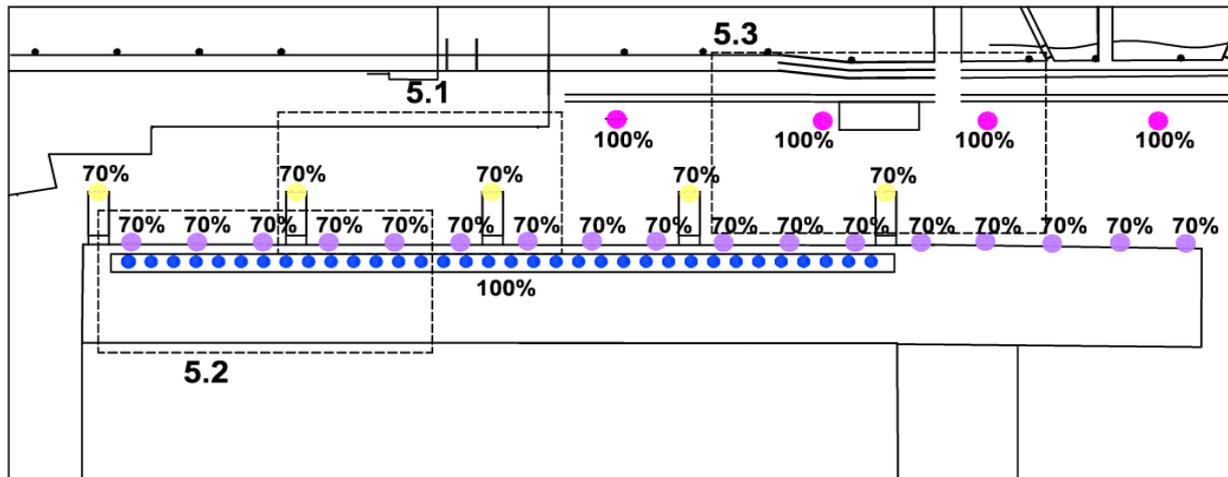
**Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo CP (h.0 m dal pavimento)**  
**RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE**



**Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo CP (h.1.50 m dal pavimento)**  
**RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE**

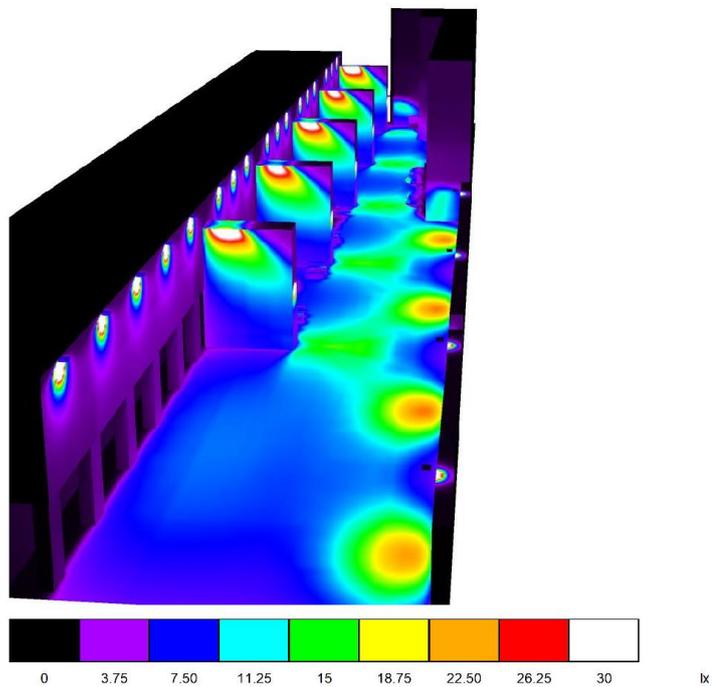


## ZONA 5: Viale Valluri



- Schreder CMS mini 5139-P=19 W
- Schreder CMS mini 5139-P=29 W
- Erco kubus washer
- Schreder CMS mini 5102

F



### 5.1-Area ciclopedonale

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>CP</b> (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$E_{min}=4,20 \text{ lux}$ $E_{max}=21 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,43$ $E_{min}/E_{max}=0,20$	$\bar{E}_m=9,73$ <b>lux</b>
Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>CP</b> (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$\bar{E}_m=5,34 \text{ lux}$ $E_{max}=11 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,37$ $E_{min}/E_{max}=0,19$	$E_{min}=1,97$ <b>lux</b>

### 5.2-Portico

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo <b>PE</b> (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$E_{min}=7,89 \text{ lux}$ $E_{max}=20 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,56$ $E_{min}/E_{max}=0,40$	$\bar{E}_m=14$ <b>lux</b>
Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo <b>CP</b> (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$\bar{E}_m=7,42 \text{ lux}$ $E_{max}=13 \text{ lux}$ $E_{min}/\bar{E}_m=0,40$ $E_{min}/E_{max}=0,22$	$E_{min}=2,99$ <b>lux</b>

### 5.3- Ingresso C.so Castelfidardo

Illuminamento orizzontale-Superficie di calcolo CP (h.0 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$E_{\min}=1,53 \text{ lux}$ $E_{\max}=24 \text{ lux}$ $E_{\min}/\bar{E}_m=0,12$ $E_{\min}/E_{\max}=0,06$	$\bar{E}_m=13 \text{ lux}$
Illuminamento semicilindrico-Superficie di calcolo CP (h.1.50 m dal pavimento) RAPPRESENTAZIONE AD ISOLINEE		
	$\bar{E}_m=8,55 \text{ lux}$ $E_{\max}=16 \text{ lux}$ $E_{\min}/\bar{E}_m=0,45$ $E_{\min}/E_{\max}=0,23$	$E_{\min}=3,81 \text{ lux}$

Seguono i risultati dei calcoli per la regolazione al 50% della potenza ottenuta con la medesima strategia della regolazione al 70%. Per le varie zone si riportano solamente i risultati illuminotecnici poiché le curve Isolux sono pressoché identiche a quelle del caso precedente:

<b>Zona 1 : Viale Panetti</b>			
<b>Superfici di calcolo</b>		<b>Perpendicolare</b>	<b>Semicilindrica</b>
<b>1.1-Lato ingresso C.so Einaudi</b>	M <sub>1</sub>	$\bar{E}_m = 6,9 \text{ lux}$ $E_{\min} = 5,9 \text{ lux}$	$E_{\min} = 3,9$
	P <sub>1</sub>	$\bar{E}_m = 13 \text{ lux}$ $E_{\min} = 1,53 \text{ lux}$	$E_{\min} = 3,5$
	V	$\bar{E}_m = 8,1 \text{ lux}$ $U_0 = 0,7 \text{ lux}$	
	P <sub>2</sub>	$\bar{E}_m = 8,4 \text{ lux}$ $E_{\min} = 4,9 \text{ lux}$	$E_{\min} = 4,5$
	M <sub>2</sub>	$\bar{E}_m = 4,5 \text{ lux}$ $E_{\min} = 3,7 \text{ lux}$	$E_{\min} = 2,7$
<b>1.2-Ingresso C.so Einaudi</b>	M	$\bar{E}_m = 9,9 \text{ lux}$ $E_{\min} = 5,6 \text{ lux}$	$E_{\min} = 2,7$
	V	$\bar{E}_m = 5,5 \text{ lux}$ $U_0 = 0,6 \text{ lux}$	$E_{\min} = 2,7$
<b>1.3-Lato ingresso laboratori</b>	M <sub>1</sub>	$\bar{E}_m = 5,9 \text{ lux}$ $E_{\min} = 3,3 \text{ lux}$	$E_{\min} = 1,1$
	P <sub>1</sub>	$\bar{E}_m = 5,4 \text{ lux}$ $E_{\min} = 3,1 \text{ lux}$	$E_{\min} = 1,3$
	V	$\bar{E}_m = 5,5 \text{ lux}$ $U_0 = 0,6 \text{ lux}$	
	P <sub>2</sub>	$\bar{E}_m = 5,5 \text{ lux}$ $E_{\min} = 3,6 \text{ lux}$	$E_{\min} = 1,7$
	M <sub>2</sub>	$\bar{E}_m = 5,2 \text{ lux}$ $E_{\min} = 3,2 \text{ lux}$	$E_{\min} = 1,3$
	PE	$\bar{E}_m = 5,1 \text{ lux}$ $E_{\min} = 1,0 \text{ lux}$	$E_{\min} = 1,5$

**Tabella 73-**Risultati dei calcoli illuminotecnici per la Zona 1 con regolazione degli apparecchi al 50%

<b>Zona 2 : Viale Castigliano</b>			
<b>Superfici di calcolo</b>		<b>Perpendicolare</b>	<b>Semicilindrica</b>
<b>2</b>	M <sub>1</sub>	$\bar{E}_m = 8,6 \text{ lux}$ $E_{\min} = 5,7 \text{ lux}$	$E_{\min} = 3,4$
	V	$\bar{E}_m = 8,4 \text{ lux}$ $U_0 = 0,7 \text{ lux}$	
	P <sub>2</sub>	$\bar{E}_m = 6,7 \text{ lux}$ $E_{\min} = 4,5 \text{ lux}$	$E_{\min} = 3,6$
	M <sub>2</sub>	$\bar{E}_m = 5,7 \text{ lux}$ $E_{\min} = 4,4 \text{ lux}$	$E_{\min} = 1,6$

**Tabella 74-**Risultati dei calcoli illuminotecnici per la Zona 2 con regolazione degli apparecchi al 50%

<b>Zona 3 : Viale Guidi</b>			
<b>Superfici di calcolo</b>		<b>Perpendicolare</b>	<b>Semicilindrica</b>
<b>3.1-Asilo Nido/ingresso C.so Castelfidardo</b>	M <sub>1</sub>	$\bar{E}_m = 16 \text{ lux}$ $E_{\min} = 7,9 \text{ lux}$	$E_{\min} = 2,5$
	V	$\bar{E}_m = 14 \text{ lux}$ $U_0 = 0,6 \text{ lux}$	
<b>3.2-Area parcheggi</b>	M <sub>1</sub>	$\bar{E}_m = 9,4 \text{ lux}$ $E_{\min} = 4,3 \text{ lux}$	$E_{\min} = 2,7$
	P <sub>1</sub>	$\bar{E}_m = 12 \text{ lux}$ $E_{\min} = 6,0 \text{ lux}$	$E_{\min} = 3,4$
	V	$\bar{E}_m = 12 \text{ lux}$ $U_0 = 0,7 \text{ lux}$	
	P <sub>2</sub>	$\bar{E}_m = 8,1 \text{ lux}$ $E_{\min} = 4,8 \text{ lux}$	$E_{\min} = 4,1$
	M <sub>2</sub>	$\bar{E}_m = 6,3 \text{ lux}$ $E_{\min} = 4,6 \text{ lux}$	$E_{\min} = 2,7$
<b>3.3-Area ciclopedonale</b>	PE	$\bar{E}_m = 6,89 \text{ lux}$ $E_{\min} = 2,0 \text{ lux}$	$E_{\min} = 1,9$
	S1	<b><math>\bar{E}_m = 4,4 \text{ lux}</math></b>	<b><math>E_{\min} = 0,87</math></b>
	S2	$\bar{E}_m = 5,5 \text{ lux}$	$E_{\min} = 1,2$
	S3	$\bar{E}_m = 7,5 \text{ lux}$	$E_{\min} = 1,4$

**Tabella 75-**Risultati dei calcoli illuminotecnici per la Zona 3 con regolazione degli apparecchi al 50%

<b>Zona 4 : Piazzale</b>			
<b>Superfici di calcolo</b>		<b>Perpendicolare</b>	<b>Semicilindrica</b>
<b>4.1-Corridoio Laterale</b>	M	$\bar{E}_m = 6,2 \text{ lux}$ $E_{\min} = 5,1 \text{ lux}$	$E_{\min} = 5,4$
	CP	$\bar{E}_m = 6,8 \text{ lux}$ $E_{\min} = 3,3 \text{ lux}$	$E_{\min} = 3,0$
<b>4.2-Ingresso edificio principale</b>	M	$\bar{E}_m = 9,1 \text{ lux}$ $E_{\min} = 5,3 \text{ lux}$	$E_{\min} = 2,2$
	CP	$\bar{E}_m = 16 \text{ lux}$ $E_{\min} = 7,9 \text{ lux}$	$E_{\min} = 2,5$
<b>4.3-Ingresso segreteria</b>	M	$\bar{E}_m = 6,1 \text{ lux}$ $E_{\min} = 5,1 \text{ lux}$	$E_{\min} = 2,5$
	CP	$\bar{E}_m = 6,5 \text{ lux}$ $E_{\min} = 2,9 \text{ lux}$	$E_{\min} = 1,7$
	PE	$\bar{E}_m = 12 \text{ lux}$ $E_{\min} = 5,2 \text{ lux}$	$E_{\min} = 1,8$

**Tabella 76-**Risultati dei calcoli illuminotecnici per la Zona 4 con regolazione degli apparecchi al 50%

<b>Zona 5 : Viale Valluri</b>			
<b>Superfici di calcolo</b>		<b>Perpendicolare</b>	<b>Semicilindrica</b>
<b>5.1-Area Ciclopedonale</b>	CP	$\bar{E}_m = 16 \text{ lux}$ $E_{\min} = 7,9 \text{ lux}$	$E_{\min} = 2,5$
<b>5.2-Portico</b>	PE	$\bar{E}_m = 14 \text{ lux}$ $E_{\min} = 7,8 \text{ lux}$	$E_{\min} = 3,0$
<b>5.3-Ingressi da C.so Castelfidardo</b>	CP	$\bar{E}_m = 11 \text{ lux}$ $E_{\min} = 1,16 \text{ lux}$	$E_{\min} = 3,1$

**Tabella 77**-Risultati dei calcoli illuminotecnici per la Zona 5 con regolazione degli apparecchi al 50%

Dall'analisi dei risultati sia per lo scenario con regolazione degli apparecchi al 70% che per lo scenario al 50% risulta che i valori di Illuminamento rispettano in quasi la maggior parte dei casi i requisiti minimi individuati a valle dell'analisi dei rischi e che risultano essere:

#### **Categoria illuminotecnica-CONFLITTUALE: C5**

$\bar{E}_{\min} > 7,5 \text{ lux}$ $U_0 > 0,4$	<b>Normativa UNI EN 13201-2:2016</b>
--	--------------------------------------

#### **Categoria illuminotecnica-PEDONALE: P4**

$\bar{E}_m > 5 \text{ lux}$ $E_{\min} > 1 \text{ lux}$ $E_{sc,\min} > 1 \text{ lux}$	<b>Normativa UNI EN 13201-2:2016</b>
--	--------------------------------------

Si segnala anche in questo caso i valori di illuminamento minimo medio mantenuto  $\bar{E}_m$  e semicilindrico  $E_{sc,\min}$ , al di sotto dei requisiti minimi per la zona 3.3 della zona Guidi, considerati comunque accettabili poiché non critici. Inoltre nella zona 1.3 di Viale Panetti il valore di  $\bar{E}_m$  del tratto veicolare risulta pari a 4,4 lx e quindi non rispetta i requisiti dati dalla normativa, ma tale risultato può essere comunque validato considerando la buona uniformità dell'illuminazione ottenuta e che per i tratti veicolari non può avvenire la riduzione di categoria oltre la C5. Inoltre alla luce del fatto che tutte le zone analizzate sono interessate da traffico misto e non sono caratterizzate come aree stradali vere e proprie, i requisiti minimi da rispettare non risultano fortemente limitanti.

Grazie all'elevata efficienza energetica dei sistemi di illuminazione adottati e soprattutto grazie all'introduzione delle logiche di gestione degli impianti è stato possibile in definitiva ottenere, la forte riduzione dei valori di illuminamento così come ipotizzato in base all'analisi dei rischi e alla riduzione della categoria illuminotecnica di appartenenza.

### 4.3.1 Stima dei consumi

Dopo aver analizzato i risultati illuminotecnici ottenuti con i diversi profili di regolazione, si procede con la valutazione dei consumi e del conseguente risparmio energetico derivato dall'intervento. A tal fine si riportano le tabelle delle potenze assorbite e i consumi, calcolati per i tre diversi scenari di regolazione e per ognuna delle cinque aree in esame.

È stato inoltre calcolato anche il costo annuo in euro per l'energia elettrica dato da

$$C_E = C_{FE} + C_{VE}^9$$

dove:

$C_E$ : spesa totale per l'energia annua in €/anno

$C_{FE}$ : spesa fissa per l'energia annua in €/anno (trascurabile)

$C_{VE}$ : spesa variabile per l'energia annua in €/anno. Questa quota risulta non trascurabile ed è data dalla moltiplicazione di due fattori:  $E$ , che rappresenta l'energia assorbita all'anno in kWh/anno e  $c_e$ , che è il costo unitario dell'energia pari a 0,174 €/kWh<sup>10</sup>.

Infine è stata anche inserita, per ogni zona, una tabella comparativa con i parametri di potenza totale assorbita dall'area e di kWh all'anno consumati sia per lo stato attuale che per lo stato di progetto a cui si aggiunge il dato di risparmio energetico conseguibile

---

<sup>9</sup> Sviluppo di sistemi intelligenti per la gestione della "Smart Street"- Report RdS/2011/198-ENEA

<sup>10</sup> Costo al lordo di tutte le tasse, compresa IVA, e di tutte le componenti di costo che compongono la fattura. Inoltre rappresenta la media del costo sulle tre fasce orarie. Fonte: area tecnica, tecnico-scientifica ed elaborazione dati dell'EDILOG -Edilizia e Logistica. Politecnico di Torino.

### Zona 1: Viale Panetti

ID apparecchio	Quantità	Potenza [W]	Scenario 1: no regolazione		Scenario 2: regolazione media		Scenario 3: regolazione minima	
			% di regolazione	P_tot assorbita [W]	% di regolazione	P_tot assorbita [W]	% di regolazione	P_tot assorbita [W]
beqa 66975K3	2	5	100%	10,00	100%	10	100%	10
Cariboni 06lv3b0007 Levante small AS 700 ma	2	24,5	100%	49,00	100%	49	100%	49
cariboni06K S6B25037 KOSMOS FLD M LT-6 525mA	7	20,5	100%	143,5	70%	100,5	50%	71,8
Schreder CMS MINI 5129-BL 500 mA	4	26	100%	104	70%	72,8	50%	52
<b>Totale</b>	15			<b>306,2</b>		<b>232,3</b>		<b>182,8</b>

**Tabella 78-**Valutazione Potenze totali assorbite per gli apparecchi della Zona 1

Scenari luminosi	P_tot assorbita [W]	Ore annue di funzionamento calcolate [h]	Energia totale assorbita [kWh/y]	Costo annuo dell'energia [€/y]
Scenario 1	306,2	1233	377,9	65,8
Scenario 2	232,3	1095	254,3	44,3
Scenario 3	182,8	1825	333,5	58
<b>Totale</b>	<b>721,5</b>	4153	<b>965,8</b>	168

**Tabella 79-**Valutazione energia elettrica assorbita per gli apparecchi della Zona 1

Scenari	N° punti luce	P_tot assorbita [W]	Energia annuale assorbita [kWh/y]	Risparmio Energetico [%]
Scenario attuale	11	2836	11586,6	
Scenario progettuale	15	721,5	965,8	<b>91,7</b>

**Tabella 80-**Risparmio energetico dello scenario progettuale della Zona 1

### Zona 2: Viale Castigliano

ID apparecchio	Quantità	Potenza [W]	Scenario 1: no regolazione		Scenario 2: regolazione media		Scenario 3: regolazione minima	
			% di regolazione	P_tot assorbita [W]	% di regolazione	P_tot assorbita [W]	% di regolazione	P_tot assorbita [W]
Schreder cms mini 5068 SY 350 mA	7	15,2	100%	106,4	70%	74,5	50%	53,2
Schreder cms mini 5139 BL 500 mA	5	26	100%	130	70%	91	50%	65
<b>Totale</b>	12			<b>236,4</b>		<b>165,5</b>		<b>118,2</b>

**Tabella 81**-Valutazione Potenze totali assorbite per gli apparecchi della Zona 2

Scenari luminosi	P_tot assorbita [W]	Ore annue di funzionamento calcolate [h]	Energia totale assorbita [kWh/y]	Costo annuo dell'energia [€/y]
Scenario 1	236,4	1233	291,5	50,7
Scenario 2	165,5	1095	181,2	31,5
Scenario 3	118,2	1825	215,7	37,5
<b>Totale</b>	<b>520,1</b>	4153	<b>688,4</b>	<b>119,8</b>

**Tabella 82**-Valutazione energia elettrica assorbita per gli apparecchi della Zona 2

Scenari	N° punti luce	P_tot assorbita [W]	Energia annuale assorbita [kWh/y]	Risparmio Energetico [%]
Scenario attuale	10	2230	9143	
Scenario progettuale	12	520,1	688,4	<b>92,5</b>

**Tabella 83**-Risparmio energetico dello scenario progettuale della Zona 2

### Zona 3: Viale Guidi

ID apparecchio	Quantità	Potenza [W]	Scenario 1: no regolazione		Scenario 2: regolazione media		Scenario 3: regolazione minima	
			% di regolazione	P_tot assorbita [W]	% di regolazione	P_tot assorbita [W]	% di regolazione	P_tot assorbita [W]
Schreder cms mini 5137 BL 350 mA	7	19	100%	133	70%	93,1	50%	66,5
AEC Q-DROME STU-S 1M 4.5	8	28	100%	224	70%	156,8	50%	112
AEC Q-DROME STU-M 1M 4.4	3	22	100%	66	70%	46,2	50%	33
Schreder cms mini 5117 BL 350 mA	3	19	100%	57	100%	57	100%	57
<b>Totale</b>	19			<b>480</b>		<b>353,1</b>		<b>286,5</b>

**Tabella 84-**Valutazione Potenze totali assorbite per gli apparecchi della Zona 3

Scenari luminosi	P_tot assorbita [W]	Ore annue di funzionamento calcolate [h]	Energia totale assorbita [kWh/y]	Costo annuo dell'energia [€/y]
Scenario 1	480	1233	537,6	93,5
Scenario 2	353,1	1095	352,9	61,4
Scenario 3	286,5	1825	449,9	78,3
<b>Totale</b>	<b>1101,6</b>	<b>4153</b>	<b>1468,5</b>	<b>255,5</b>

**Tabella 85-**Valutazione energia elettrica assorbita per gli apparecchi della Zona 3

Scenari	N° punti luce	P_tot assorbita [W]	Energia annuale assorbita [kWh/y]	Risparmio Energetico [%]
Scenario attuale	16	3700	15150	
Scenario progettuale	19	1101,6	1468,5	<b>90,3</b>

**Tabella 86-**Risparmio energetico dello scenario progettuale della Zona 3

### Zona 4: Piazzale Ferraris

ID apparecchio	Quantità	Potenza [W]	Scenario 1: no regolazione		Scenario 2: regolazione media		Scenario 3: regolazione minima	
			%di regolazione	P_tot assorbita [W]	% di regolazione	P_tot assorbita [W]	% di regolazione	P_tot assorbita [W]
bega 55841k3 30°+10013	6	4	100%	24	100%	24	100%	24
Bega 55922k3	4	4	100%	16	100%	16	100%	16
Schreder CMS MINI 5117 350 mA	4	19	100%	76	70%	53,2	50%	38
Schreder ISLA 5117 SY 350 mA	12	19	100%	228	70%	159,6	50%	114
<b>Totale</b>	<b>26</b>			<b>344</b>		<b>252,8</b>		<b>192</b>

**Tabella 87-**Valutazione Potenze totali assorbite per gli apparecchi della Zona 4

Scenari luminosi	P_tot assorbita [W]	Ore annue di funzionamento calcolate [h]	Energia totale assorbita [kWh/y]	Costo annuo dell'energia [€/y]
Scenario 1	344	1233	424,15	73,8
Scenario 2	252,8	1095	276,8	48,2
Scenario 3	192	1825	350,4	60,9
<b>Totale</b>	<b>788,8</b>	<b>4153</b>	<b>1051,4</b>	<b>182,9</b>

**Tabella 88-**Valutazione energia elettrica assorbita per gli apparecchi della Zona 4

Scenari	N° punti luce	P_tot assorbita [W]	Energia annuale assorbita [kWh/y]	Risparmio Energetico [%]
Scenario attuale	8	2180	8938	
Scenario progettuale	26	788,8	1051,4	<b>88,2</b>

**Tabella 90-**Risparmio energetico dello scenario progettuale della Zona 4

### Zona 5: Viale Valluri

ID apparecchio	Quantità	Potenza [W]	Scenario 1: no regolazione		Scenario 2: regolazione media		Scenario 3: regolazione minima	
			% di regolazione	P_tot assorbita [W]	% di regolazione	P_tot assorbita [W]	% di regolazione	P_tot assorbita [W]
Erco kubus washer	34	5	100%	170	100%	170	100%	170
Schreder cms mini 5102-BL 350mA	4	19	100%	76	100%	76	100%	76
Schreder cms mini 5139-BL 350mA	5	19	100%	95	70%	66,5	50%	47,5
Schreder cms mini 5139 BL 350 mA	17	29	100%	493	70%	345,6	50%	246,5
<b>Totale</b>	60			<b>834</b>		<b>657,6</b>		<b>540</b>

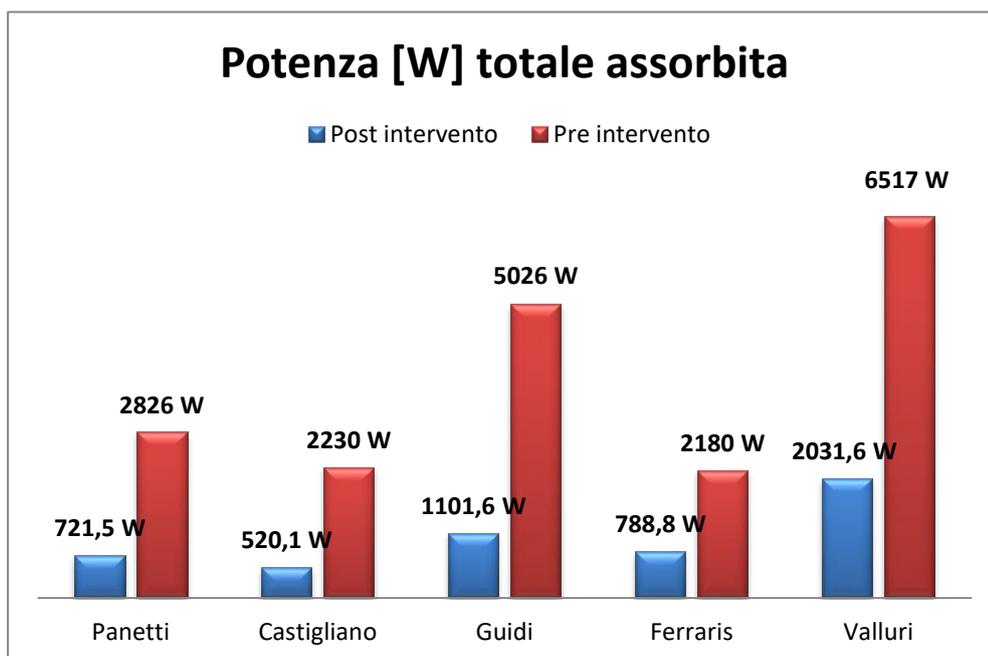
**Tabella 91-**Valutazione Potenze totali assorbite per gli apparecchi della Zona 5

Scenari luminosi	P_tot assorbita [W]	Ore annue di funzionamento calcolate [h]	Energia totale assorbita [kWh/y]	Costo annuo dell'energia [€/y]
Scenario 1	834	1233	1028,3	178,9
Scenario 2	657,6	1095	720	125,3
Scenario 3	540	1825	985,5	171,5
<b>Totale</b>	<b>2031,6</b>	<b>4153</b>	<b>2733,9</b>	<b>475,7</b>

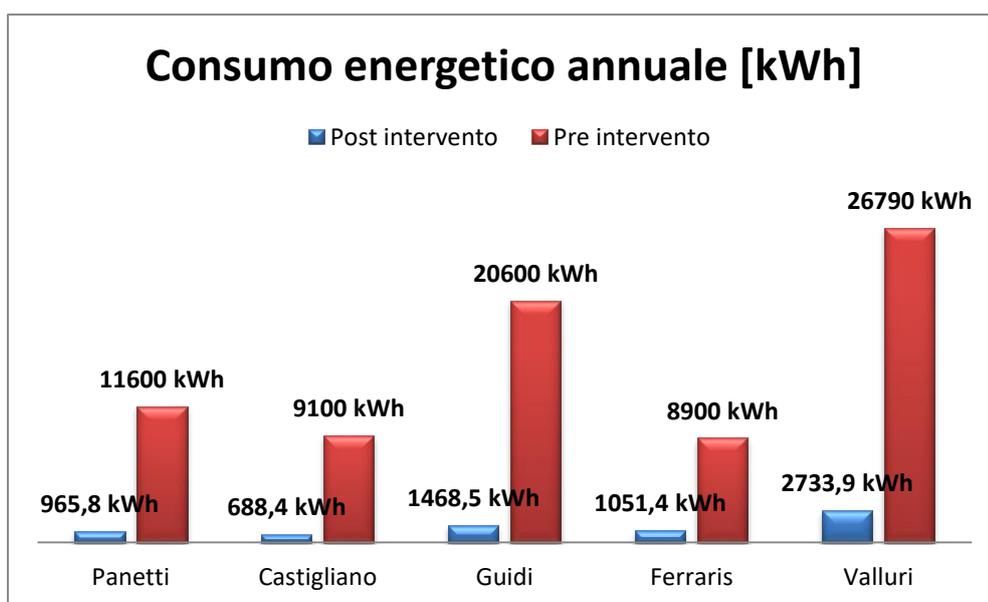
**Tabella 92-**Valutazione energia elettrica assorbita per gli apparecchi della Zona 5

Scenari	N° punti luce	P_tot assorbita [W]	Energia annuale assorbita [kWh/y]	Risparmio Energetico [%]
Scenario attuale	56	6517	26719,7	
Scenario progettuale	60	2031,6	2733,9	<b>89,8</b>

**Tabella 93-**Risparmio energetico dello scenario progettuale della Zona 5



**Grafico 4-** Potenza totale assorbita per le zone analizzate nel Pre e Post intervento



**Grafico 5-** Energia elettrica consumata all'anno per le zone analizzate nel Pre e Post intervento

Dai grafici si evince che, nelle varie zone analizzate, sia la potenza totale assorbita che l'energia elettrica consumata risultino fortemente diminuite. In particolare si nota come il consumo energetico annuale sia nettamente inferiore nel post intervento grazie alla scelta di adottare un profilo di regolazione del flusso che permette di diminuire le ore all'anno di funzionamento a piena potenza.

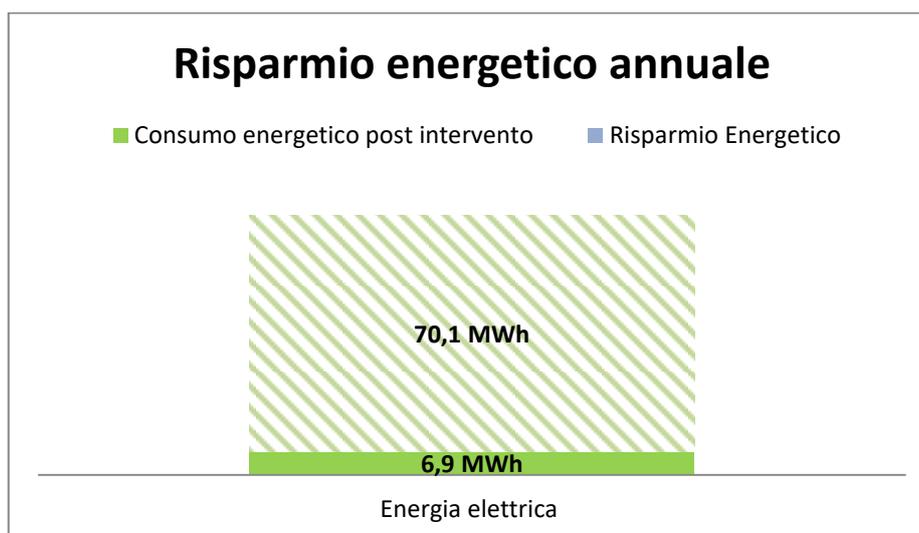
Il confronto diretto tra la situazione dello stato attuale e quella progettuale risulta quella che segue:

Pre intervento	
Quantità punti luce	101
Potenza totale assorbita [W]	6517
Ore di funzionamento medie annue [h]	4100

Post intervento			
Quantità punti luce	132		
Potenza totale assorbita [W]	2201(100%)	1661(70%)	1302(50%)
Ore di funzionamento annue calcolate [h]	1233 (100%)	1095 (70%)	1825 (50%)

Stato attuale	Stato di progetto
<b>Consumo energetico annuale</b> 77 MWh	<b>Consumo energetico annuale</b> 6,9 MWh
<b>Risparmio energetico annuale: 70,1 MWh</b>	
<b>Risparmio energetico annuale percentuale: 91%</b>	

Il risparmio energetico pari a oltre il 90% e l'abbattimento dei consumi dell'impianto per più di 70 MWh all'anno sono stati ottenuti grazie all'impegno di nuovi apparecchi con sorgenti a LED, che raggiungono valori di efficienza del corpo illuminante pari a 108 lm/W, e grazie all'utilizzo di un sistema di regolazione che permette di ridurre il flusso luminoso emesso dagli apparecchi, regolandone la potenza assorbita. Il tutto è stato conseguito accertandosi in primo luogo di poter, con i nuovi impianti, rispettare i requisiti illuminotecnici minimi imposti dalla normativa.



**Grafico 6-** Risparmio energetico annuale ottenibile tramite la soluzione proposta

Conseguentemente al risparmio energetico sono stati anche valutati i TEP risparmiati (Tonnellata di Petrolio Equivalente) cioè l'energia che si libera dalla combustione di una tonnellata di petrolio e le tonnellate di CO<sub>2</sub> non emesse in atmosfera:

<b>Stato attuale</b>	<b>Stato di progetto</b>
<b>TEP</b> 14,4 TEP/anno	<b>TEP</b> 1,3 TEP/anno
<b>TEP risparmiati: 13,1 TEP/anno</b> <sup>11</sup>	

<b>Stato attuale</b>	<b>Stato di progetto</b>
<b>CO<sub>2</sub> emessa</b> 25 tCO <sub>2</sub> /anno	<b>CO<sub>2</sub> emessa</b> 2,24 tCO <sub>2</sub> /anno
<b>CO<sub>2</sub> non emessa: 22,8 tCO<sub>2</sub>/anno</b> <sup>12</sup>	

<sup>11</sup> Fattore di conversione pari a 0,187 TEP per ogni MWh prodotto (delibera EEN 3/08)

<sup>12</sup> Fattori di emissione per la produzione e il consumo di energia elettrica in Italia( aggiornamento al 2016 e stime preliminari per il 2017 elaborate da ISPRA su fonte dati TERNA

### 4.3.2 Indicatori delle prestazioni energetiche e i C.A.M

Grazie alla revisione nel 2015 delle norme europee della serie EN 13201, è stata introdotta una nuova sezione, la cinque, riguardante il calcolo della prestazione energetica dell'impianto, operata grazie alla valutazione di due specifici parametri:

- D<sub>p</sub>: Power Density Indicator (PDI)- Indice di Densità di Potenza
- D<sub>E</sub> : Annual Energy Consumption Indicator (AECI)- Indice del Consumo Annuale di Energia

Tali indici vanno definiti e valutati in coppia ed inoltre sono spesso utilizzati come strumento di comparazione per il calcolo dell'efficacia di vari impianti.

Nello specifico il D<sub>p</sub> rappresenta l'efficacia del sistema di illuminazione di convertire la potenza elettrica in potenza luminosa e di concentrare tale luce sulle aree di interesse. È dato dal rapporto tra la Potenza del sistema e il prodotto tra il valore di illuminamento medio mantenuto calcolato nella stessa area secondo la norma UNI EN 13201-3:

$$D_p = \frac{P_{app}}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i * A_i)}$$

dove:

D<sub>p</sub>: indicatore della densità di potenza [W\*lx<sup>-1</sup>\*m<sup>-2</sup>];

$\bar{E}_i$ : illuminamento orizzontale medio mantenuto sulla sotto-superficie i-esima [lx];

A<sub>i</sub>: dimensione della sotto-superficie i-esima illuminata dall'installazione luminosa [m<sup>2</sup>];

n: numero delle sotto-superfici da illuminare.<sup>13</sup>

Nel caso in cui la categoria illuminotecnica individuata vari durante la notte e/o durante le stagioni ( ad esempio se diminuisce la densità di traffico oppure se vi sono cambiamenti dell'ambiente visivo, di conseguenza la classe illuminotecnica viene ridotta), la D<sub>p</sub> deve essere calcolata separatamente per ogni classe illuminotecnica. Alternativamente se sono utilizzate classi illuminotecniche multiple, durante la notte o durante l'anno, la densità di potenza può essere calcolata come la media sul periodo di riferimento;

Invece, per la valutazione del parametro D<sub>E</sub> si considerano vari fattori a cui è strettamente legato:

1. Periodo temporale di fornitura dell'illuminazione;
2. Classe illuminotecnica per ogni periodo di illuminazione;
3. L'efficienza dell'installazione;
4. I metodi di gestione dell'illuminazione con cui si seguono i cambiamenti nei requisiti visivi degli utenti della strada;
5. Il consumo di energia parassite quando non l'illuminazione non è richiesta;

---

<sup>13</sup> UNI EN 13201-5

L'indicatore del consumo annuale di energia quindi viene utilizzato per verificare l'efficacia dei sistemi di regolazione rispetto agli impianti che funzionano al 100% della potenza durante tutte le ore di accensione ed è definito come:

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j * t_j)}{A}$$

dove:

$D_E$ : indicatore del consumo annuale di energia [ Wh\*m<sup>-2</sup>];

$P_j$ : potenza associata al j-esimo profilo operativo [W];

$t_j$ : durata del periodo j-esimo del profilo operativo alla potenza j-esima lungo un anno [h];

$A$ : superficie illuminata [m<sup>2</sup>].<sup>14</sup>

Se prevista la regolazione degli impianti si richiede il calcolo di due indicatori di consumo annuale  $D_{E\_full}$  e  $D_{E\_rid}$  in base all'accensione degli impianti a piena potenza o a potenza ridotta.

Nel caso della soluzione progettuale proposta il calcolo dei due indicatori è stato effettuato per ognuna delle cinque zone e i valori ottenuti sono stati confrontati con i valori tipici di riferimento al fine di valutare l'efficacia dell'intervento.

Si specifica che per il calcolo  $D_{E\_full}$  e  $D_{E\_rid}$  le formule utilizzate sono state le seguenti:

$$D_{E\_full} = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j) * t_{full}}{A}$$

$$D_{E\_red} = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j) * [t_{100} + (k_{red70} * t_{red70}) + (k_{red50} * t_{red50})]}{A}$$

dove:

$t_{full}$  : ore di funzionamento all'anno in cui l'impianto funziona al 100% della potenza(cioè quando non è prevista nessuna regolazione) e risulta pari a 4153 precedentemente calcolate nel capito dell'analisi energetica .

$t_{100}$ : ore di funzionamento all'anno in cui l'impianto funziona al 100% della potenza(quando è prevista la regolazione degli impianti) e risulta pari a 1233 precedentemente calcolate nel capito dell'analisi energetica

$k_{red70}$ : percentuale di riduzione della potenza prevista e pari al 70%

$t_{red70}$ : ore di funzionamento all'anno in cui l'impianto funziona al 70% della potenza e risulta pari a 1095 precedentemente calcolate nel capito dell'analisi energetica

$k_{red50}$ : percentuale di riduzione della potenza prevista e pari al 50%

$t_{red50}$ : ore di funzionamento all'anno in cui l'impianto funziona al 50% della potenza e risulta pari a 1095 precedentemente calcolate nel capito dell'analisi energetica

---

<sup>14</sup> UNI EN 13201-5

	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>	<b>Zona 3</b>	<b>Zona 4</b>	<b>Zona 5</b>
<b>D<sub>p</sub></b> [mW*lx*m <sup>-2</sup> ]	33,1	33,5	40,5	10,8	54,1
<b>D<sub>E_full</sub></b> [KWh* m <sup>-2</sup> ]	1,6	2,1	2,3	0,1	2,9
<b>D<sub>E_red</sub></b> [KWh* m <sup>-2</sup> ]	1,4	1,4	1,6	0,1	2,1

**Tabella 94-**Risultato degli indicatori di performance energetica per lo scenario di progetto

Sono stati considerati quindi i valori di riferimento dei due riportati nell' Appendice A della UNI EN 13201-5:2016 secondo il profilo stradale più vicino alla tipologia di ogni zona in esame. A tal proposito non si può effettuare un confronto diretto tra i risultati della soluzione proposta e i valori indicati dalla normativa poiché i profili stradali di riferimento non corrispondono con la configurazione delle aree oggetto di intervento. Infatti le zone 1 ,2 e 3 sono paragonabili al profilo stradale A.3.7 mentre non esiste un profilo preciso per le zone in cui l'accesso dei veicoli è proibito, come risultano essere le Zone 4 e 5. Il valore di larghezza della carreggiata scelto è il valore intermedio pari a 5 m anche se tale parametro risulta differente in ogni zona e non sempre definibile. Si tiene dunque conto dei valori di D<sub>p</sub> e D<sub>E</sub> per un'illuminazione a LED e classe illuminotecnica utilizzata pari a C5:

	<b>Profilo stradale A.3.7</b>				
<b>D<sub>p</sub></b> [mW*lx*m <sup>-2</sup> ]	41	41	41	41	41
<b>D<sub>E_full</sub></b> [KWh* m <sup>-2</sup> ]	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3

**Tabella 95-** Valori di riferimento degli indicatori di performance energetica, UNI EN 13201-5:2016

Considerando il fatto che il profilo stradale selezionato non descrive in modo preciso le zone in esame i valori ottenuti possono essere considerati allo stesso modo in linea con quanto indicato dalla normativa. Da specificare però che gli ambienti oggetto d'intervento non sono da considerarsi come strade vere e proprie , come più volte specificato e che quindi i livelli di performance energetica indicati nella norma sono stati utilizzati più come uno strumento di confronto, che come valori minimi da conseguire necessariamente con il progetto.

Un altro strumento che può essere adattato al caso in esame per la valutazione delle minime prestazione ambientali da raggiungere è quella dei Criteri Ambientali Minimi (CAM) per il servizio di Illuminazione Pubblica definiti dal Piano d'Azione Nazionale sul Green Public Procurement (PAN GPP). A tal proposito si specifica che, essendo il Politecnico di Torino considerato come un ente privato, i CAM vengono utilizzati per

adeguare l'impianto esistente verso un ridotto impatto ambientale sottolineando quindi, la necessità di intervento, alla luce del risparmio energetico che ne conseguirebbe. Secondo tale documento infatti vengono definiti i Criteri base sia per le lampade che per gli apparecchi per poi passare alla valutazione dei criteri sulla prestazione energetica tramite l'indice IPEA\* per gli apparecchi e IPEI\* per gli impianti.

La soluzione progettuale prevede l'adozione di moduli LED come sorgenti luminose e quindi si dovrà tener conto delle seguenti indicazioni:

- Efficienza luminosa dei moduli LED

Efficienza luminosa del modulo LED completo di sistema ottico(il sistema ottico è parte integrante del modulo LED) lm/W	Efficienza luminosa del modulo LED senza sistema ottico(il sistema ottico non fa parte del modulo LED) lm/W
≥ 95	≥ 110

- Fattore di mantenimento del flusso luminoso e tasso di guasto dei moduli LED

Fattore di mantenimento del flusso luminoso	Tasso di guasto (%)
L <sub>80</sub> per 60.000 h di funzionamento	B <sub>10</sub> per 60.000 h di funzionamento

in cui:

L<sub>80</sub>: Flusso luminoso nominale maggiore o uguale all'80% del flusso luminoso nominale iniziale

B<sub>10</sub>: Tasso di guasto inferiore o uguale al 10%

Inoltre si ritiene opportuno la sostituzione degli apparecchi luminosi per adeguarli alle nuove sorgenti adottate e quindi in questo caso i criteri individuati sono i seguenti:

- Apparecchi per illuminazione di aree pedonali, percorsi pedonali, percorsi ciclabili, aree ciclo-pedonali

Proprietà dell'apparecchio di illuminazione	Valori minimi
IP vano ottico	IP55
IP vano cablaggi	IP55
Categoria di intensità luminosa	≥G*2
Resistenza agli urti(vano ottico)	IK07
Resistenza alle sovratensioni	4kV

- Prestazione energetica degli apparecchi di illuminazione

Si riportano le indicazioni relative all'indice di prestazione energetica degli apparecchi IPEA\* ,specificando che quest'ultimo è definito in modo diverso dall'IPEA precedentemente definito nel decreto del Ministero dell'Ambiente del Dicembre 2013:

$$IPEA^* = \frac{\eta a}{\eta_r}$$

con  $\eta a$  = *efficienza globale dell'apparecchio di illuminazione* che si calcola come segue

$$\eta a = \frac{\phi_{app} * Dff}{P_{app}}$$

in cui:

$\phi_{app}$  (lm) flusso luminoso nominale iniziale emesso dall'apparecchio di illuminazione nelle condizioni di utilizzo di progetto e a piena potenza,

$P_{app}$  (W) potenza attiva totale assorbita dall'apparecchio di illuminazione intesa come somma delle potenze assorbite dalle sorgenti e dalle componenti presenti all'interno dello stesso apparecchio di illuminazione (accenditore, alimentatore/reattore ,condensatore, ecc); tale potenza è quella che l'apparecchio di illuminazione assorbe dalla linea elettrica durante il suo normale funzionamento a piena potenza (comprensiva quindi di ogni apparecchiatura in grado di assorbire potenza elettrica dalla rete);

$Dff$  frazione del flusso emesso dall'apparecchio di illuminazione rivolta verso la semisfera inferiore dell'orizzonte (calcolata come rapporto fra flusso luminoso diretto verso la semisfera inferiore e flusso luminoso totale emesso), cioè al di sotto dell'angolo di 90°.<sup>15</sup>

Per il valore della  $\eta_r$  ,efficienza globale di riferimento,nel caso dell'illuminazione di aree pedonali, percorsi pedonali, percorsi ciclabili, aree ciclo-pedonali si fa riferimento alla tabella seguente:

Potenza nominale dell'apparecchio P[W]	Efficienza globale di riferimento $\eta_r$ [lm/W]
$P \leq 65$	75
$65 < P \leq 85$	80
$85 < P \leq 115$	85
$115 < P \leq 175$	88
$175 < P \leq 285$	90
$285 < P \leq 450$	92
$450 < P$	92

<sup>15</sup> Piano d'azione Nazionale sul Green Public Procurement (PAN GPP)- Criteri ambientali minimi. Aggiornamento dei CAM adottati con DM 23 Dicembre 2013

**Tabella-** Tabella n.10 per l'Efficienza globale di riferimento

Dal calcolo dell'indice IPEA\* quindi, si risale alla classe energetica degli apparecchi illuminanti grazie alla seguente tabella:

INTERVALLI DI CLASSIFICAZIONE ENERGETICA	
Classe energetica apparecchi illuminanti	IPEA*
An+	$IPEA^* \geq 1,10 + (0,10 \times n)$
A++	$1,30 < IPEA^* \leq 1,40$
A+	$1,20 < IPEA^* \leq 1,30$
A	$1,10 < IPEA^* \leq 1,20$
B	$1,00 < IPEA^* \leq 1,10$
C	$0,85 < IPEA^* \leq 1,00$
D	$0,70 < IPEA^* \leq 0,85$
E	$0,55 < IPEA^* \leq 0,70$
F	$0,40 < IPEA^* \leq 0,55$
G	$IPEA^* \leq 0,40$

**Tabella 96-** Classi energetiche degli apparecchi

- Prestazione energetica degli impianti di illuminazione

Un ulteriore indice specificato nei CAM e di cui si tiene conto nel presente elaborato è l'indice di prestazione energetica dell'impianto IPEI\* al quale sono legate le classi energetica degli impianti:

INTERVALLI DI CLASSIFICAZIONE ENERGETICA	
Classe energetica impianto	IPEI*
An+	$IPEI^* < 0,85 + (0,10 \times n)$
A++	$0,55 \leq IPEI^* < 0,65$
A+	$0,65 \leq IPEI^* < 0,75$
A	$0,75 \leq IPEI^* < 0,85$
B	$0,85 \leq IPEI^* < 1,00$
C	$1,00 \leq IPEI^* < 1,35$
D	$1,35 \leq IPEI^* < 1,75$
E	$1,75 \leq IPEI^* < 2,30$
F	$2,30 \leq IPEI^* < 3,00$
G	$IPEI^* \geq 3,00$

**Tabella 97-** Classi energetiche degli impianti

L'indice IPEI\* che viene utilizzato per la valutazione delle prestazioni energetiche degli impianti di illuminazione è definito come segue:

$$IPEI^* = \frac{Dp}{Dp,R}$$

con  $Dp$  = Densità di Potenza di progetto, che si calcola come segue:

$$Dp = \frac{\sum P_{app}}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i * \frac{0,80}{MFi} * A_i)}$$

in cui:

$P_{app}$  (W) potenza attiva totale assorbita dall'apparecchio di illuminazione intesa come somma delle potenze assorbite dalle sorgenti e dalle componenti presenti all'interno dello stesso apparecchio di illuminazione (accenditore, alimentatore/reattore, condensatore, ecc); tale potenza è quella che l'apparecchio di illuminazione assorbe dalla linea elettrica durante il suo normale funzionamento a piena potenza (comprensiva quindi di ogni apparecchiatura in grado di assorbire potenza elettrica dalla rete);

$\bar{E}_i$  (lx) illuminamento orizzontale medio mantenuto di progetto dell'area  $i$ -esima, calcolato secondo le direttive UNI EN 13201. L'illuminamento medio mantenuto di progetto non può essere superiore del 20% rispetto al valore minimo indicato dalla norma UNI 13201-2.

$MFi$  coefficiente di manutenzione adottato per il calcolo dell'area  $i$ -esima.

$A_i$  area  $i$ -esima illuminata.

$n$ : numero delle aree  $i$ -esime considerate.

e con  $Dp,R$  = Densità di Potenza di riferimento che per l'illuminazione di aree pedonali o ciclabili classificate come categoria illuminotecnica P (o C) risulta essere:

Categoria Illuminotecnica (secondo UNI 13201-2)	Densità di potenza di riferimento [W/lux/m <sup>2</sup> ]
(C0)	0,039
(C1)	0,042
(C2)	0,044
P1(C3)	0,048
P2(C4)	0,051
P3(C5)	0,053
P4	0,056
P5	0,059
P6	0,061
P7	0,064

**Tabella 98-** Densità di potenza di riferimento in base alle categorie illuminotecniche

I calcoli di IPEA\* e IPEI\* per la soluzione proposta sono stati effettuati considerando:

-Dff pari a 1 poiché tutti gli apparecchi utilizzati emettono flusso luminoso solo esclusivamente verso il basso;

- Coefficiente di manutenzione (MF) pari a 0,8

-  $\eta_r$  (efficienza globale di riferimento) per Potenze minore di 65 W e per aree ciclopedonali pari a 75 lm/W come da Tabella n...

-Dp,r (Densità di potenza di riferimento) che in base alla classificazione illuminotecnica delle zone in esame (P3/C5) risulta pari a 0,053 [W/lux/m<sup>2</sup>],come specificato in Tabella n..

Si riportano i risultati dei calcoli di IPEA\* relativi ad ognuna delle cinque zone selezionate:

<b>Zona 1:Viale Panetti</b>			
<b>Punto luce</b>	<b><math>\eta a</math> [lm/W]</b>	<b>IPEA*</b>	<b>Classe energetica</b>
bega 66975K3	64,8	0,9	C
cariboni 06LV3B0007 HM3 LEVANTE SMALL AS 700 mA	108	1,4	A2+
cariboni 06KS6B25037 CHM4 KOSMOS FLD M LT-6 525mA	132	1,8	A3+
schreder CMS MINI 5129-BL 500 mA	91	1,2	A3+

**Tabella 99**-risultati di IPEA\* e classe energetica degli apparecchi della Zona1

<b>Zona 2:Viale Castigliano</b>			
<b>Punto luce</b>	<b><math>\eta a</math> [lm/W]</b>	<b>IPEA*</b>	<b>Classe energetica</b>
Schreder cms mini 5068 SY 350 mA	105	1,4	A2+
Schreder cms mini 5139 BL 500 mA	91	1,2	A+

**Tabella 100**-risultati di IPEA\* e classe energetica degli apparecchi della Zona 2

<b>Zona 3:Viale Guidi</b>			
<b>Punto luce</b>	<b><math>\eta a</math>[lm/W]</b>	<b>IPEA*</b>	<b>Classe energetica</b>
Schreder cms mini 5137 BL 350 mA	96	1,28	A+
AEC Q-DROME STU-M 1M 4.4	129	1,72	A2+
Schreder cms mini 5117 BL 350 mA	95	1,26	A+
AEC Q-DROME STU-S 1M 4.5	125	1,66	A2+

**Tabella 101**-risultati di IPEA\* e classe energetica degli apparecchi della Zona 3

<b>Zona 4:Piazzale Ferraris</b>			
<b>Punto luce</b>	<b><math>\eta_a</math>[lm/W]</b>	<b>IPEA*</b>	<b>Classe energetica</b>
Bega 55841k3 30°+10013	72,5	0,97	C
Bega 55922k3	80,5	1,11	A
Schreder CMS MINI 5117 350 mA	97	1,29	A2+
Schreder ISLA 5117 SY 350 mA	83	1,11	A

**Tabella 102**-risultati di IPEA\* e classe energetica degli apparecchi della Zona 4

<b>Zona 5:Viale Valluri</b>			
<b>Punto luce</b>	<b><math>\eta_a</math>[lm/W]</b>	<b>IPEA*</b>	<b>Classe energetica</b>
Erco kubus washer	48,8	0,65	A2+(dichiarato dal costruttore)
Schreder cms mini 5102-BL 350mA	95	1,27	A+
Schreder cms mini 5139 BL 350 mA	105	1,40	A2+
Schreder cms mini 5139 BL 350 mA	93	1,24	A+

**Tabella 103**-risultati di IPEA\* e classe energetica degli apparecchi della Zona 5

Dall'analisi dei risultati appare evidente che quasi tutti gli apparecchi previsti dal progetto per le singole zone, siano classificati con classe energetica A, fatta eccezione per alcuni corpi illuminanti ai quali è stata assegnata classe C. Essi risultano essere in numero inferiore rispetto al resto degli apparecchi con classe energetica maggiore e destinati all'illuminazione di portici o degli ingressi agli edifici interni.

I risultati dei calcoli IPEI\* vengono riportati nella tabella seguente e sono stati valutati a partire dall'indice di densità di potenza Dp riportato in Tabella n per ognuna delle zone in esame.

	<b>IPEI*</b>	<b>Classe energetica</b>
<b>Zona 1</b>	0,62	A2+
<b>Zona 2</b>	0,63	A2+
<b>Zona 3</b>	0,76	A
<b>Zona 4</b>	0,20	A4+
<b>Zona 5</b>	1,01	C

**Tabella 104-** risultati IPEI\* e classe energetica degli impianti per ogni zona

L'indice IPEI\* della zona 5 risulta maggiore rispetto alle restanti aree, a cui corrisponde quindi una classe energetica bassa (C). Tali valori sono motivati dal fatto che l'area considerata presenta un Dp a sua volta più alto dovuto ad un valore di potenza totale installata elevato. Infatti la zona 5 risulta essere quella con il maggior numero di corpi illuminanti.

## CAPITOLO 5. Conclusioni

L'illuminazione degli ambienti esterni sia pubblici che privati rappresenta un settore per il quale è possibile conseguire un notevole risparmio energetico attraverso interventi mirati di ottimizzazione. Lo sviluppo di nuove tecnologie come i moduli led, i sistemi di regolazione del flusso luminoso e la gestione degli impianti, lasciano ampia scelta agli scenari di intervento. Il progetto di tesi nasce dalla necessità per il Politecnico di Torino di ammodernare e rinnovare gli impianti di illuminazione delle aree esterne al fine di minimizzare i consumi di energia elettrica delle ore notturne e di gestire in modo efficiente l'intera infrastruttura. In quest'ottica, il progetto risulta in linea con tutta quella serie di iniziative comunitarie e nazionali di efficienza energetica ed uso delle risorse in modo sostenibile al fine non solo di ottenere risparmi economici ma anche di salvaguardare l'ambiente. Basti pensare che a livello di illuminazione pubblica, il Comune di Torino ha sviluppato una serie di programmi come "Torino Smart City", per la creazione di una città intelligente che mira alla sostenibilità ambientale, o come Torino a Led, che prevede la sostituzione dei corpi illuminanti attuali con nuovi punti luce a led. Perciò risulta evidente come anche in ambito privato si debba cercare di perseguire gli stessi obiettivi di risparmio ed efficienza energetica.

Partendo da questa serie di esigenze ed attraverso uno studio accurato dello stato di fatto comprendente anche le misure in campo degli illuminamenti e delle luminanze nelle varie zone considerate, si è cercato di migliorare lo stato dell'illuminazione anche da un punto di vista delle esigenze e di comfort degli utenti.

È risultato subito chiaro come l'area esterna del Politecnico presa in considerazione fosse quella con la maggiore esigenza di ammodernamento degli impianti, poiché più obsoleti e non in linea con l'installazione di corpi illuminanti a led che sono stati invece installati nelle zone circostanti grazie ad interventi precedenti. La soluzione proposta in ambito di questo progetto di tesi, prevede l'installazione di nuovi apparecchi led che rispettano tutti i requisiti minimi ambientali riconducibili all'illuminazione esterna e presentano un'efficienza energetica di sistema elevata. Sotto il profilo illuminotecnico è stato necessario suddividere le cinque zone oggetto di intervento, in base alle tipologie di conformazione degli ambienti, individuando i principali elementi costituenti e differenziando tra zone a traffico misto e zone a traffico esclusivamente pedonale o ciclopeditone. Grazie all'utilizzo del software illuminotecnico è stato possibile valutare la validità dell'intervento e dall'analisi dei risultati, i requisiti minimi imposti dalla UNI EN 13201-2:2015 sono stati rispettati in tutte le zone fatta eccezione per alcune criticità. Infatti i valori degli illuminamenti sia minimo medio mantenuto che semicilindrico, in particolare per la superficie di calcolo S1 della zona 3.1 in Viale Guidi, non soddisfano i limiti normativi e per ovviare a tale situazione si ritiene possibile introdurre sistemi illuminanti aggiuntivi in corrispondenza degli ingressi alle Aule 27 e 28. Inoltre nelle aree di accesso ai dipartimenti e ai laboratori di Viale Castigliano e Viale Guidi, classificate come zone di carico e scarico merci, i requisiti minimi da rispettare secondo la UNI EN 12464-2, risulterebbero più alti di quelli effettivamente ottenuti dai calcoli illuminotecnici. Anche in questo caso si prevede di installare apparecchi aggiuntivi in corrispondenza degli accessi in modo da illuminare correttamente e secondo i requisiti questi punti di criticità.

La netta riduzione dei consumi energetici conseguita con l'ipotesi di progetto rispetto allo stato attuale, dimostra che, anche prevedendo l'installazione di un numero maggiore di punti luce, sia possibile ridurre di molto il parametro di potenza assorbita e aumentare il risparmio energetico fino al valore del 90%. Gli indicatori di prestazione energetica

analizzati attestano il miglioramento dell'efficienza energetica dell'impianto seppur da considerarsi non applicabili in modo assoluto a causa della conformazione non tipicamente stradale delle aree oggetto di intervento. Le tecnologie selezionate nell'ipotesi di progetto risultano le migliori presenti sul mercato. Sono stati scelti infatti corpi illuminanti che possono essere equipaggiati con sistemi innovativi, in ottica del conseguimento di un ulteriore risparmio energetico.

L'intervento quindi garantirebbe i risultati di risparmio energetico ipotizzati tramite l'efficientamento e l'ammodernamento degli impianti e permetterebbe al Politecnico di Torino di conseguire una sostanziale riduzione dei costi sia energetici che eventualmente economici.

## BIBLIOGRAFIA

P. Palladino, G. Forcolini, Manuale di Illuminotecnica, Tecniche Nuove, Milano, 1999;

F. Leccese, G. Tuoni, Il quadro normativo in tema di inquinamento luminoso, 2000;

Provincia di Torino, Linee guida per l'applicazione della l.r. 31/2000: Indirizzi e disposizioni per la prevenzione e la lotta all'inquinamento luminoso e per il corretto impiego delle risorse energetiche, 2003;

Modifiche alla legge regionale 24 Marzo 2000, n.31 (Disposizioni per la prevenzione e la lotta all'inquinamento luminoso e per il corretto impiego delle risorse energetiche);

Ricerca di Sistema Elettrico ENEA, Illuminazione urbana e scenari di progettazione, Report RdS/2011/195;

Ricerca di Sistema Elettrico ENEA, Linee Guida: I fondamentali per una gestione efficiente degli impianti di pubblica illuminazione, Report RdS/2012/278;

R. Menga, W. Grattieri, Linee Guida Operative per la realizzazione di impianti di Pubblica Illuminazione, CESI Ricerca, 2009;

D. Santonico, L'illuminazione nelle aree urbane, ISPRA - Quaderni Ambiente e Società, 2011;

Ricerca di Sistema Elettrico ENEA, Sviluppo di sistemi intelligenti per la gestione della "Smart Street", Report RdS/2011/198;

AEC Illuminazione S.r.l, Illuminazione stradale, un nuovo panorama normativo,2010;

A.Pellegrino, Dispense del corso, Sistemi per l'illuminazione e per il controllo del rumore, a.a 2016/2017;

Ministero dell'ambiente e della Tutela del territorio e del Mare- Direzione Clia ed Energia, Piano d'Azione Nazionale sul Green Public Procurement (PAN GPP), Criteri Minimi Ambientali per Servizio di illuminazione pubblica,a,a 2018;

OxyTech, La nuova norma per l'illuminazione stradale,EN 13201:2015;

D.Bonata, EN 13201,Parti 2-3-4-5,Importanti modifiche e utili esempi di applicabilità,12 Gennaio 2017;

Politecnico di Torino, Dipartimento Energetica-Gruppo Tebe, Ottimizzazione energetico ambientale dell'illuminazione pubblica dei comuni della Val Pellice;

Rotary Club di Ivrea, Progetto illuminotecnico per la valorizzazione del complesso di S.Silvestro Papa Chiaverano (TO),a.a 2017;

G. Ceresini, Illuminazione dei luoghi di lavoro in esterno, Norma UNI EN 12464-2, a.a 2008

Assil, Revisione 2016 della norma UNI 12348 sull'illuminazione stradale, [in rete] [http://www.assil.it/page.php?id\\_pagina=526](http://www.assil.it/page.php?id_pagina=526) , 11 Novembre 2016;

D.Bonata, Uni 11248, Illuminazione stradale e selezione delle categorie illuminotecniche, Tutte le novità di una luce che evolve, a.a 2017;

A.Ricci Petitioni, Il ruolo del progettista illuminotecnico e la nuova norma UNI 11248;

D. De Marco, Le regole del gioco- Progetto,Sicurezza e Sostenibilità, a.a 2016;

P.Soardo, UNI 11248 “Illuminazione stradale”, Sicurezza,risparmio energetico,compatibilità ambientale. Ruolo e responsabilità del progettista;

M. D'amore, Approfondimenti di alcuni aspetti della Norma sull'inquinamento luminoso per i tecnici;

Lucenews, Per una migliore qualità della luce urbana,[rete] <http://www.lucenews.it/migliore-qualita-della-luce-urbana/> , 8 Novembre 2017;

## SITOGRAFIA

[www.regione.piemonte.it](http://www.regione.piemonte.it)

[www.disano.it](http://www.disano.it)

[www.minambiente.it](http://www.minambiente.it)

[www.aec.it](http://www.aec.it)

[www.Rotaryivrea.it](http://www.Rotaryivrea.it)

[www.provincia.torino.gov.it](http://www.provincia.torino.gov.it)

[www.Voltimum.it](http://www.Voltimum.it)

[www.Beghelli.it](http://www.Beghelli.it)

[www.ligth-is.eu](http://www.ligth-is.eu)

[www.Sardegnaambiente.it](http://www.Sardegnaambiente.it)

[www.lighting.philips.it](http://www.lighting.philips.it)

[www.Assil.it](http://www.Assil.it)

[www.architettiroma.it](http://www.architettiroma.it)

[www.eurecosrl.com](http://www.eurecosrl.com)

[www.bega.de](http://www.bega.de)

## APPENDICE A- SCHEDE TECNICHE DELLE STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

### A.1- LUXMETRO Minolta T1-M



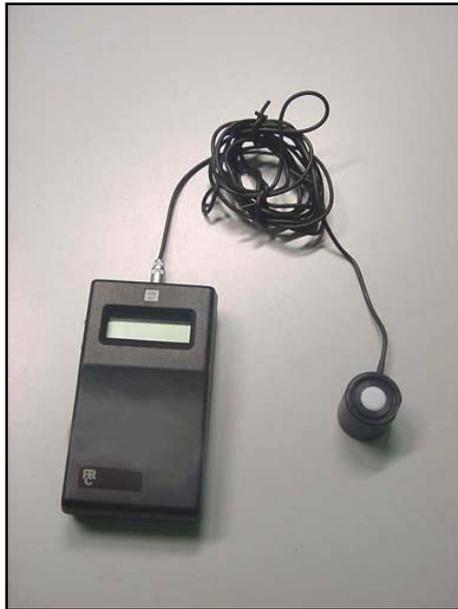
#### ✓ CARATTERISTICHE TECNICHE

<b>Tipo:</b>	luxmetro con testa fotometrica staccabile dall'acquisitore con funzioni di integrazione nel tempo del valore misurato (lx*h)
<b>Sensore:</b>	fotocellula al Silicio
<b>Campo di misura:</b>	illuminamento da 0.01 a 99900 lx illuminamento integrato da 0.01 a 999000 lx*h
<b>Risposta spettrale:</b>	$\pm 2\%$ rispetto alla curva $V(\lambda)$ di visione fotopica CIE nell'intervallo $400 \text{ nm} < \lambda < 760 \text{ nm}$
<b>Risposta direzionale (<math>f_2</math>):</b>	$\pm 2\%$ per angoli di incidenza pari a $30^\circ$ $\pm 7\%$ per angoli di incidenza pari a $60^\circ$ $\pm 25\%$ per angoli di incidenza pari a $80^\circ$
<b>Velocità di risposta:</b>	in modalità "FAST": 0.001 s in modalità "SLOW": 1 s

#### ✓ CAMPO DI OPERATIVITA'

<b>Temperatura dell'aria:</b>	da $-10^\circ\text{C}$ a $+50^\circ\text{C}$
<b>Peso:</b>	220 g senza batteria
<b>Alimentazione:</b>	interna            batteria da 9V esterna            9V 7mA corrente DC

## A.2- LUXMETRO PRC Krochmann Gmbh modello 106



### ✓ *CARATTERISTICHE TECNICHE*

<b>Tipo:</b>	luxmetro con testa fotometrica staccabile dall'acquisitore
<b>Sensore:</b>	fotocellula al Silicio con area di ricezione $\phi = 8$ mm
<b>Campo di misura:</b>	da 0.1 a 120000 lx
<b>Risposta spettrale:</b>	$\pm 3.5\%$ rispetto alla curva $V(\lambda)$ di visione fotopica CIE
<b>Risposta direzionale (<math>f_2</math>):</b>	$\pm 1.5\%$
<b>Peso:</b>	210 g
<b>Alimentazione:</b>	batteria da 9V alcalina; autonomia: ca. 70 h display: spegnimento automatico ogni 4 min
<b>Accessori:</b>	cavo di connessione tra la testa fotometrica e l'acquisitore (3 m)

(per le incertezze strumentali di misura rif. CIE n. 69 e DIN n. 5032 parte 6)

Specifiche tecniche del luxmetro PRC 106 (sonda illuminamento semicilindrico EZH)

